

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012301393 **Image available**

WPI Acc No: 1999-107499/199910

XRPX Acc No: N99-077703

Pressure detector for high pressure fluids - has single crystal semiconductor chip on metal diaphragm and of circular shape with symmetrically arranged strain gauge resistances

Patent Assignee: DENSO CORP (NPDE); NIPPONDENSO CO LTD (NPDE); HAMAMOTO K (HAMA-I); SUZUKI Y (SUZU-I); TANAKA H (TANA-I); TANIZAWA Y (TANI-I); TOYODA I (TOYO-I)

Inventor: HAMAMOTO K; SUZUKI Y; TANAKA H; TANIZAWA Y; TOYODA I

Number of Countries: 004 Number of Patents: 005

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19833712	A1	19990128	DE 1033712	A	19980727	199910 B
FR 2767193	A1	19990212	FR 989492	A	19980724	199914
JP 11094666	A	19990409	JP 98157915	A	19980605	199925
US 20010039837	A1	20011115	US 2000492605	A	20000127	200172
US 6595065	B2	20030722	US 2000492605	A	20000127	200354

Priority Applications (No Type Date): JP 98157915 A 19980605; JP 97199972 A 19970725

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

DE 19833712	A1	44	G01L-009/04		
-------------	----	----	-------------	--	--

FR 2767193	A1		G01L-009/08		
------------	----	--	-------------	--	--

JP 11094666	A	29	G01L-009/04		
-------------	---	----	-------------	--	--

US 20010039837	A1		G01L-007/08		
----------------	----	--	-------------	--	--

US 6595065	B2		G01L-009/04		
------------	----	--	-------------	--	--

Abstract (Basic): DE 19833712 A

The pressure detector includes a single crystal semiconductor chip (2) which is arranged on a metal diaphragm (1b) by way of a piece of low melting-point glass. The sensor chip has a flat shape selected from a circular shape comprising a seven or more sided polygon and a polygon having a ratio of diameter to encircling diameter of less than 1.2.

Four strain gauge resistances (3a to 3d) are arranged on x and y axes running through an origin of the chip, parallel to the [110] direction.

USE - For sensor which uses piezoelectric effect of single crystal semiconductor.

ADVANTAGE - Reduced thermal stress due to differential linear expansion coefficients. High sensitivity.

Dwg. 1/43

Title Terms: PRESSURE; DETECT; HIGH; PRESSURE; FLUID; SINGLE; CRYSTAL; SEMICONDUCTOR; CHIP; METAL; DIAPHRAGM; CIRCULAR; SHAPE; SYMMETRICAL; ARRANGE; STRAIN; GAUGE; RESISTANCE

Derwent Class: S02; U12

International Patent Class (Main): G01L-007/08; G01L-009/04; G01L-009/08

International Patent Class (Additional): G01L-019/04

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): S02-F04B3; U12-B03E

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-94666

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 1 L 9/04

1 0 1

G 0 1 L 9/04

1 0 1

// G 0 1 L 19/04

19/04

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平10-157915

(22) 出願日 平成10年(1998) 6月5日

(31) 優先権主張番号 特願平9-199972

(32) 優先日 平9 (1997) 7月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 谷澤 幸彦

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会

社デンソー内

(72) 発明者 浜本 和明

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会

社デンソー内

(72) 発明者 豊田 稲男

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会

社デンソー内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 強

最終頁に続く

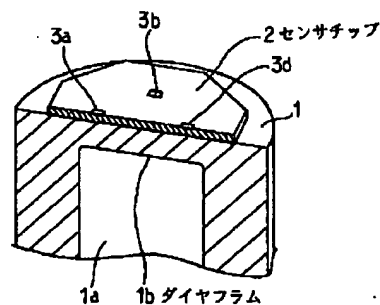
(54) 【発明の名称】 圧力検出装置

(57) 【要約】

【課題】 金属ダイヤフラムと単結晶半導体より成るセンサチップとを組み合わせることにより高圧力を検出可能な構成とする場合において、線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を排除して検出誤差の低減を図ること。

【解決手段】 金属製ダイヤフラム1bの上面には、平面形状が正八角形のセンサチップ2が接合される。このセンサチップ2は、面方位がほぼ(100)の単結晶シリコンより成るもので、その上面には、チップ中心Oと直交した状態の2本の<110>軸上に、4個の歪みゲージ抵抗3a~3dがチップ中心Oを挟んで点対称配置状に形成されている。これら歪みゲージ抵抗3a~3dは、信号取出用のホイートストンブリッジを構成する。

3 a, 3 b, 3 d : 歪みゲージ抵抗



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接合して成る圧力検出装置において、

前記センサチップの平面形状を、凸 n 角形 ($n \geq 6$) 若しくは円形に形成したことを特徴とする圧力検出装置。

【請求項2】 受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接合して成る圧力検出装置において、

前記センサチップの平面形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形に形成したことを特徴とする圧力検出装置。

【請求項3】 前記センサチップは、面方位がほぼ(100)の単結晶半導体により形成されることを特徴とする請求項1または2記載の圧力検出装置。

【請求項4】 請求項3記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、

各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上に、当該センサチップの中心から所定距離だけ離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項5】 請求項4記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、

そのホイートストンブリッジの各辺を構成する歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上に、当該センサチップの中心を挟んでほぼ点対称配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項6】 前記センサチップは、面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成されることを特徴とする請求項1または2記載の圧力検出装置。

【請求項7】 請求項6記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、

各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上に、その中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項8】 請求項7記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、

そのホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗及び他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗が、それぞれ前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項9】 前記センサチップは、多角形状に形成さ

れる場合には、前記<110>軸とほぼ直交する辺を備えた形状に形成されることを特徴とする請求項3ないし8の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項10】 前記センサチップは、その平面形状がほぼ八角形に形成されることを特徴とする請求項1ないし9の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項11】 前記歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心から1mm以下の距離内に配置されることを特徴とする請求項1ないし10の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項12】 受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接着用材料を介して接合して成る圧力検出装置において、

前記センサチップを矩形平板状に形成すると共に、前記接着用材料の平面分布形状を、凸 n 角形 ($n \geq 6$) 若しくは円形となるように構成したことを特徴とする圧力検出装置。

【請求項13】 受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接着用材料を介して接合して成る圧力検出装置において、

前記センサチップを矩形平板状に形成すると共に、前記接着用材料の平面分布形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形となるように構成したことを特徴とする圧力検出装置。

【請求項14】 前記センサチップは、面方位がほぼ(100)の単結晶半導体により形成されることを特徴とする請求項12または13記載の圧力検出装置。

【請求項15】 請求項14記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、

各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上に、当該センサチップの中心から所定距離だけ離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項16】 請求項15記載の圧力検出装置において、前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、

そのホイートストンブリッジの各辺を構成する歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上に、当該センサチップの中心を挟んでほぼ点対称配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項17】 前記センサチップは、面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成されることを特徴とする請求項12または13記載の圧力検出装置。

【請求項18】 請求項17記載の圧力検出装置におい

て、
前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、
各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上に、その中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項19】 請求項18記載の圧力検出装置において、
前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、
そのホイートストンブリッジの対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗及び他の対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗が、それぞれ前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項20】 前記センサチップは、前記<110>軸とほぼ直交した状態の辺部を有し、
前記接着用材料は、平面分布形状が多角形状に形成される場合には、前記<110>軸とほぼ直交する辺を備えた形状に形成されることを特徴とする請求項14ないし17の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項21】 前記接着用材料の平面分布形状がほぼ八角形となるように構成したことを特徴とする請求項12ないし20の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項22】 前記歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心から1mm以下の距離内に配置されることを特徴とする請求項12ないし21の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項23】 前記接着用材料は低融点ガラスであることを特徴とする請求項12ないし22の何れかに記載の圧力検出装置。

【請求項24】 受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接合して成る圧力検出装置において、前記センサチップを、表面に互いに直交した状態の結晶軸を有した矩形平板状に形成すると共に、上記各結晶軸の方向をセンサチップの辺部と平行する直線に対して $15^{\circ} \sim 37^{\circ}$ の角度だけ回転させた範囲となるように設定したことを特徴とする圧力検出装置。

【請求項25】 前記センサチップは、面方位がほぼ(100)の単結晶半導体により形成されて、互いに直交した状態の前記各結晶軸がそれぞれ<110>軸となるように構成され、
前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、
各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の各結晶軸上に、当該センサチップの中心から所定距離だけ離間した状態で配置されることを特徴と

する請求項24記載の圧力検出装置。

【請求項26】 請求項25記載の圧力検出装置において、
前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、
そのホイートストンブリッジの各辺を構成する歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分で直交した状態の前記各結晶軸上に、当該センサチップの中心を挟んで点対称配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【請求項27】 前記センサチップは、面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成されて、互いに直交した状態の前記各結晶軸がそれぞれ<100>軸及び<110>軸となるように構成され、
前記歪みゲージ抵抗はブリッジ回路を構成するように2個以上設けられ、
各歪みゲージ抵抗は、前記センサチップの中心部分を通る前記<110>軸に沿った位置上に、その中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする請求項24記載の圧力検出装置。

【請求項28】 請求項27記載の圧力検出装置において、
前記歪みゲージ抵抗は、ホイートストンブリッジを構成するように複数個設けられ、
そのホイートストンブリッジの対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗及び他の対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗が、それぞれ前記センサチップの中心部分を通る前記<110>軸に沿った位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置されることを特徴とする圧力検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高圧流体の圧力を検出する用途に適した圧力検出装置、特に単結晶半導体のピエゾ抵抗効果を利用して圧力検出を行うようにした圧力検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、高圧流体の圧力を検出するための装置として、例えば特公平7-11461号公報に記載されたものが知られている。このものは、表面に歪みゲージ抵抗を有した正形状のセンサチップ（半導体チップ）を、センシングボディと一体に形成された金属ダイヤフラム上にガラス層を介して接合した構成となっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記のような圧力検出装置においては、センサチップに作用する熱応力（半導体チップ及び金属ダイヤフラムの線膨張係数差により発生する熱応力）が、検出誤差に大きな影響を及ぼすという事情がある。このような熱応力に起因した検出誤差の低減を図るために、従来では、金属ダイヤフラムの材料

としてセンサチップと線膨張係数が近いものを選択したり、金属ダイヤモンド及びセンサチップを極力薄くして感度を上げる（熱応力による検出誤差を相対的に減らす）などの対策が行われている。しかしながら、このような対策だけでは検出誤差の低減効果に限界があるため、さらなる効果的対策の出現が望まれていた。

【0004】本発明は上記のような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、金属ダイヤモンドと単結晶半導体より成るセンサチップとを組み合わせることにより高圧力を検出可能な構成としたものでありながら、それら金属ダイヤモンド及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を簡単な構造により極力排除でき、これにより検出誤差の低減を図り得るなどの効果を奏する圧力検出装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の圧力検出装置は、上記目的を達成するために、受圧用の金属製ダイヤモンド上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接合する構成とした上で、そのセンサチップの平面形状を、凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形に形成する構成としたものである。尚、凸 n 角形とは、頂角が 180° 未満の n 角形をいう。

【0006】本件発明者は、金属製ダイヤモンド上に接合された単結晶半導体製センサチップの表面（つまり歪みゲージ抵抗の形成面）での熱応力の分布について有限要素法（FEM）により解析した。その結果、センサチップの平面形状が凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形であった場合には、センサチップの平面形状が正方形（従来構成に相当）の場合に比べて熱応力による悪影響を小さくできることが判明した。

【0007】従って、センサチップの平面形状を、凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形に形成した請求項1記載の発明によれば、金属ダイヤモンド及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該センサチップの平面形状を変更するだけの簡単な構造によって極力排除できるものであり、これにより検出誤差の低減を図り得るようになる。

【0008】また、請求項2記載の発明のように、金属製ダイヤモンド上に接合されたセンサチップの平面形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形に形成する構成としても良い。

【0009】本件発明者による前述したような有限要素法による解析の結果、センサチップの平面形状が円形に近い状態であれば、程度の差はあるものの、熱応力による悪影響の低減を図り得ることが分かった。センサチップの平面形状を多角形状に形成することを想定した場合、円形にどの程度近い形状であるか否かの判断基準として、その多角形の外接円及び内接円の各直径を比較することが考えられる。即ち、外接円直径÷内接円直径の値を δ とした場合、真円に限りなく近い多角形の δ はほ

ぼ1であり、また、正八角形であれば δ は約1.082、正方形であれば δ は約1.414となる。

【0010】この場合、熱応力に関して、どの程度まで円形に近付いた形状が許容されるかを検討した結果、 δ が1.2未満の多角形（実際には正六角形程度以上のもの）であれば、熱応力の悪影響を低減できる形状（円形に近い形状）と考えて良いことが分かった。従って、センサチップの平面形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形に形成した請求項2記載の発明によっても、金属ダイヤモンド及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該センサチップの平面形状を変更するだけの簡単な構造により極力排除できて、検出誤差の低減を実現できることになる。

【0011】また、請求項3記載の発明のように、前記センサチップを、面方位がほぼ（100）の単結晶半導体により形成する構成としても良い。

【0012】このようにセンサチップの面方位が（100）であった場合には、センサチップ上には、これを構成する単結晶半導体の $\langle 110 \rangle$ 軸が直交した状態で存在することになる。この場合、単結晶半導体における

（100）面でのピエゾ抵抗効果は、互いに直交する2本の $\langle 110 \rangle$ 軸方向（以下、これらを便宜上X軸方向及びY軸方向と呼ぶ）へ作用する各応力成分の双方の影響を受けるものであり、また、被検出圧力が印加された状態でのセンサチップ表面の歪みゲージ抵抗の抵抗変化率は、上記X軸及びY軸方向の各応力成分の差に比例することが分かっている。

【0013】そこで、本件発明者は、被検出圧力の印加に応じたセンサチップの表面におけるX軸方向及びY軸方向の応力分布状態、並びに上記各方向の熱応力分布状態を有限要素法により解析した。

【0014】この解析の結果、面方位が（100）の単結晶半導体より成るセンサチップにあつては、そのチップ中心からの距離が大きくなるほど被検出圧力の印加に応じた上記応力成分差が拡大すること、つまり歪みゲージ抵抗の抵抗変化率が大きくなることが判明した。また、熱応力については、歪みゲージ抵抗を、チップ中心から所定距離内の位置に配置すれば、その配置ポイントでのX軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできることが判明した。

【0015】要するに、歪みゲージ抵抗の抵抗変化率を大きくして感度を上げるためには、歪みゲージ抵抗の配置位置をチップ中心から極力離れた位置に設定することが望ましく、また、熱応力に起因した検出誤差を縮小するためには、歪みゲージ抵抗の配置位置をチップ中心に極力近い位置に設定することが望ましいことが判明した。

【0016】また、上述のような解析の結果、センサチップの平面形状を、凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形、

或いは外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形に形成した場合には、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる範囲（チップ中心からの距離）が、従来構成の正方形の場合に比べて拡大することが判明した。

【0017】従って、請求項3記載の発明のように、面方位がほぼ（100）の単結晶半導体によりセンサチップを形成した場合、歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その位置をチップ中心から比較的離れた状態とすることができて、歪みゲージ抵抗の抵抗変化率をある程度大きくできるようになるから、結果的に、検出誤差を大幅に低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するようになる。

【0018】上記のように、センサチップを面方位がほぼ（100）の単結晶半導体により形成する場合には、請求項4記載の発明のように、ブリッジ回路を構成するように2個以上設けられた歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上（つまり、X軸及びY軸上）に、当該センサチップの中心から所定距離だけ離間した状態で配置する構成とすることができる。このような構成によれば、請求項3記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その抵抗変化率をある程度大きくできて、ブリッジ回路から熱応力オフセット電圧が小さい検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0019】また、上記のように、センサチップを面方位がほぼ（100）の単結晶半導体により形成する場合には、請求項5記載の発明のように、ホイートストンブリッジの各辺を構成する歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上（X軸及びY軸上）に、当該センサチップの中心を挟んでほぼ点対称配置とする構成としても良い。このような構成によっても、請求項3記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その抵抗変化率をある程度大きくできて、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さく且つ高レベルの検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の大幅な向上を実現できるようになる。

【0020】また、請求項6記載の発明のように、前記センサチップを、面方位がほぼ（110）の単結晶半導体により形成する構成としても良い。このようにセンサチップの面方位が（110）であった場合には、センサチップ上には、これを構成する単結晶半導体の<100>軸及び<110>軸が直交した状態で存在することになる。この場合、単結晶半導体より成るセンサチップに圧力が印加された場合、そのセンサチップの中心から<

110>軸方向に沿った方向での応力分布は、当該センサチップの中央部領域と周辺部領域とで比較的大きな差が出るものである。従って、この<110>軸に沿った異なる位置上の中央部及び周辺部にそれぞれ歪みゲージ抵抗を配置した場合には、圧力印加に応じた各歪みゲージ抵抗の抵抗変化率にも比較的大きな差が出ることになる。

【0021】また、本件発明者による有限要素法による解析によれば、センサチップの中心から<110>軸方向に沿った方向での熱応力分布は、ある程度の範囲まで同一の大きさのまま推移することが判明している。このため、例えば2個の歪みゲージ抵抗を、<110>軸に沿った異なる位置上の中央部及び周辺部にそれぞれ配置する場合であっても、それら歪みゲージ抵抗の<110>軸方向の熱応力差をほぼ零にできることになる。

【0022】従って、請求項6記載の発明のように、面方位がほぼ（110）の単結晶半導体によりセンサチップを形成した場合には、歪みゲージ抵抗を、センサチップにおける<110>軸に沿った異なる位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置することにより、各歪みゲージ抵抗の抵抗変化率の差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるようになる。この結果、その抵抗変化率の差に基づいて圧力検出可能となるものであり、このときには検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するようになる。

【0023】上記のように、センサチップを面方位がほぼ（110）の単結晶半導体により形成する場合には、請求項7記載の発明のように、ブリッジ回路を構成するように2個以上設けられた歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上に、その中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置する構成とすることができる。このような構成によれば、請求項6記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗の抵抗変化率の差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるようになって、ブリッジ回路から熱応力オフセット電圧が小さい検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0024】また、上記のように、センサチップを面方位がほぼ（110）の単結晶半導体により形成する場合には、請求項8記載の発明のように、ホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗及び他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗を、それぞれ前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置する構成としても良い。このような構成によっても、請求項6記載の発明と同様の理由により、ホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗と、他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗との抵抗変化率の

差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるようになって、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さく且つ高レベルの検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の大幅な向上を実現できるようになる。

【0025】請求項10記載の発明のように、前記センサチップの平面形状をほぼ八角形に形成した場合には、半導体ウェーハ上でのセンサチップのレイアウトが簡単化すると共に、無駄が少なくなる。この結果、当該センサチップを半導体ウェーハから切り出す工程が簡単化すると共に、チップ収率（チップ取れ率）が向上する利点が出てくる。

【0026】請求項12記載の圧力検出装置は、前記目的を達成するために、受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接着用材料を介して接合する構成とした上で、そのセンサチップを矩形平板状に形成すると共に、前記接着用材料の平面分布形状を、凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形となるように構成したものである。

【0027】本件発明者は、金属製ダイヤフラム上に、接着用材料を介して接合された矩形平板状の単結晶半導体製センサチップの表面（つまり歪みゲージ抵抗の形成面）での熱応力の分布について、上記接着用材料の平面分布形状を種々変更しながら有限要素法によって解析した。その結果、接着用材料の平面分布形状が凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形であった場合には、金属製ダイヤフラム上にセンサチップの全体を接着用材料を介して接合した場合（接着用材料の平面分布形状がセンサチップの形状に応じた矩形状となる場合）に比べて熱応力による悪影響を小さくできることが判明した。

【0028】従って、接着用材料の平面分布形状を凸 n 角形（ $n \geq 6$ ）若しくは円形に形成した請求項12記載の発明によれば、金属ダイヤフラム及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該接着用材料の平面分布形状を変更するだけの簡単な構造によって極力排除できるものであり、これにより検出誤差の低減を図り得るようになる。しかも、この場合には、センサチップの形状が矩形状とされているから、当該センサチップをウェーハのダイシング加工によって容易に得ることができて製造性が向上すると共に、その加工時の無駄が少なくなって、チップ収率（チップ取れ率）が大幅に向上するようになる。

【0029】また、請求項13記載の発明のように、金属製ダイヤフラム上に接着用材料を介して矩形平板状のセンサチップを接合する場合に、その接着用材料の平面分布形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形に形成する構成としても良い。

【0030】本件発明者による前述したような有限要素法による解析の結果、センサチップが矩形平板状のもの

であっても、これを金属ダイヤフラム上に接着するため接着用材料の平面分布形状が円形に近い状態であれば、程度の差はあるものの、熱応力による悪影響の低減を図り得ることが分かった。接着用材料の平面分布形状を多角形状に形成することを想定した場合、円形にどの程度近い形状であるか否かの判断基準として、その多角形の外接円及び内接円の各直径を比較することが考えられる。即ち、外接円直径÷内接円直径の値を δ とした場合、真円に限りなく近い多角形の δ はほぼ1であり、また、正八角形であれば δ は約1.082、正方形であれば δ は約1.414となる。

【0031】この場合、熱応力に関して、前記接着用材料の平面分布形状が、どの程度まで円形に近付いた形状が許容されるかを検討した結果、 δ が1.2未満の多角形（実際には正六角形程度以上のもの）であれば、熱応力の悪影響を低減できる形状（円形に近い形状）と考えて良いことが分かった。従って、接着用材料の平面分布形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形若しくは円形に形成した請求項13記載の発明によっても、金属ダイヤフラム及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該接着用材料の平面形状を変更するだけの簡単な構造により極力排除できて、検出誤差の低減を実現できることになる。

【0032】また、請求項14記載の発明のように、前記矩形平板状のセンサチップを、面方位がほぼ（100）の単結晶半導体により形成する構成としても良い。このような構成によれば、前述した請求項3記載の発明の場合と同様に、歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向（互いに直交する2本の<110>軸方向）の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その位置をチップ中心から比較的離れた状態とすることができて、歪みゲージ抵抗の抵抗変化率をある程度大きくできるようになるから、結果的に、検出誤差を大幅に低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するようになる。

【0033】また、上記のように、矩形平板状のセンサチップを面方位がほぼ（100）の単結晶半導体により形成する場合には、請求項15記載の発明のように、ブリッジ回路を構成するように2個以上設けられた歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸上（つまり、X軸及びY軸上）に、当該センサチップの中心から所定距離だけ離間した状態で配置する構成とすることができる。このような構成によれば、請求項14記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その抵抗変化率をある程度大きくできて、ブリッジ回路から熱誤差オフセット電圧が小さい検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0034】さらに、上記のように、矩形平板状のセンサチップを面方位がほぼ(100)の単結晶半導体により形成する場合には、請求項16記載の発明のように、ホイートストンブリッジの各辺を構成する歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分で直交した状態の2本の<110>軸(X軸及びY軸)上に、当該センサチップの中心を挟んでほぼ点対称配置とする構成としても良い。このような構成によっても、請求項14記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗を、X軸方向及びY軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置に配置した場合でも、その抵抗変化率をある程度大きくできて、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さく且つ高レベルの検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の大幅な向上を実現できるようになる。

【0035】また、請求項17記載の発明のように、前記矩形平板状のセンサチップを、面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成する構成としても良い。このような構成によれば、前述した請求項6記載の発明の場合と同様に、歪みゲージ抵抗を、センサチップにおける<110>軸に沿った異なる位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置することにより、各歪みゲージ抵抗の抵抗変化率の差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるようになる。従って、その抵抗率の差に基づいて圧力検出可能となるものであり、このときには検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するようになる。

【0036】上記のように、矩形平板状のセンサチップを面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成する場合には、請求項18記載の発明のように、ブリッジ回路を構成するように2個以上設けられた歪みゲージ抵抗を、前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上に、その中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置する構成とすることができる。このような構成によれば、請求項6記載の発明と同様の理由により、各歪みゲージ抵抗の抵抗変化率の差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるよくなつて、ブリッジ回路から熱応力オフセット電圧が小さい検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0037】また、上記のように、矩形平板状のセンサチップを面方位がほぼ(110)の単結晶半導体により形成する場合には、請求項19記載の発明のように、ホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗及び他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗を、それぞれ前記センサチップの中心部分を通る<110>軸に沿った位置上の中央部及び周辺部に互いに離間した状態で配置する構成としても良い。このような構成によっても、請求項6記載の発明と同様の理由により、ホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲ

ージ抵抗と、他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗との抵抗変化率の差を、熱応力の影響を受けることなくある程度大きくできるようになって、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さく且つ高レベルの検出出力を得ることができるから、検出誤差を低減しながら感度の大幅な向上を実現できるようになる。

【0038】請求項24記載の圧力検出装置は、前記目的を達成するために、受圧用の金属製ダイヤフラム上に、歪みゲージ抵抗を備えた単結晶半導体製のセンサチップを接合する構成とした上で、そのセンサチップを、表面に互いに直交した状態の結晶軸を有した矩形平板状に形成すると共に、上記各結晶軸の方向をセンサチップの辺部と平行する直線に対して15°～37°の角度だけ回転させた範囲となるように設定する構成としたものである。

【0039】本件発明者は、金属製ダイヤフラム上に接合された矩形平板状の単結晶半導体製センサチップについて、その表面に互いに直交した状態で存する各結晶軸の方向を当該センサチップの辺部と平行した直線に対して所定角度ずつ回転させた複数のモデルを想定し、各モデルにおけるセンサチップ表面(つまり歪みゲージ抵抗の形成面)での熱応力の分布について、有限要素法(FEM)により解析した。その結果、上記回転角度が15°～37°の範囲にあれば、センサチップの中心から比較的広い範囲の領域まで上記熱応力による誤差要因が減少することが判明した。

【0040】従って、矩形平板状のセンサチップ表面に互いに直交した状態で存する各結晶軸の方向を、当該センサチップの辺部と平行する直線に対して15°～37°の角度だけ回転させた範囲となるように設定した請求項24記載の発明によれば、金属ダイヤフラム及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該センサチップの結晶軸方向を変更するだけの簡単な構造によって極力排除できるものであり、これにより検出誤差の低減を図り得るようになる。しかも、この場合には、センサチップの矩形平板状のものであるから、当該センサチップをウェハのダイシング加工によって容易に得ることができて製造性が向上すると共に、その加工時の無駄が少なくなつて、チップ収率(チップ取れ率)が大幅に向上するようになる。

【0041】

【発明の実施の形態】

(第1の実施の形態)以下、本発明の第1実施例について図1ないし図7を参照しながら説明する。図1には圧力検出装置の要部が一部断面にした状態で示され、図2には同要部の平面構造が示されている。これら図1及び図2において、金属製のセンシングボディ1は、下面が受圧口1aとされた有底円筒状に形成されており、その上端部(底面相当部)は、検出圧力に応じた厚さ寸法の受圧用の金属製ダイヤフラム1bとなるように構成され

ている。

【0042】ダイヤフラム1bの上面には、面方位がほぼ(100)の単結晶シリコン(単結晶半導体)より成る平板状のセンサチップ2が、低融点ガラスや接着剤など(図示せず)を利用して接合されている。尚、面方位がほぼ(100)であるということは、(100)面から数°程度傾斜しているものも含む概念である。また、上記センサチップ2は、その裏面全体がダイヤフラム1bと接合されるものである。

【0043】上記センサチップ2は、平面形状が正八角形となるように形成されたもので、例えば、厚さ寸法が約0.2mm、対辺間の寸法が約3.5mmに設定されている。このセンサチップ2の表面には、周知の拡散プロセスによって4個の歪みゲージ抵抗3a、3b、3c、3dが形成されており、これらの歪みゲージ抵抗3a~3dは、図3に示すように信号取出用のホイートストブリッジを構成するように接続されている。尚、各歪みゲージ抵抗3a~3dは、説明の便宜上、長辺方向の抵抗値変化をセンサ出力として取り出す矩形状のものとして表現したが、実際には、このような形状に限定されるものではない。

【0044】この場合、センサチップ2上には、当該センサチップ2を構成する単結晶シリコンの<110>軸が直交した状態で存在するものであり、図2に示すように、4個設けられた歪みゲージ抵抗3a~3dは、センサチップ2上の中心Oから互いに直交した方向へ延びる2本の<110>軸上に、当該チップ中心Oを挟んで点対称配置される。

【0045】具体的には、歪みゲージ抵抗3a、3dは、チップ中心Oを通る一方の<110>軸(以下、これをx軸と呼ぶ)上に、当該x軸と平行し且つチップ中心Oから等距離ずつ離間した形態で配置される。また、歪みゲージ抵抗3b、3cは、チップ中心Oを通る他方の<110>軸(以下、これをy軸と呼ぶ)上に、当該y軸と直交し且つチップ中心Oから等距離ずつ離間した形態で配置される。さらに、センサチップ2にあっては、上記x軸及びy軸(<110>軸)と交差する4辺が、それらx軸及びy軸とほぼ直交するように構成されている。

【0046】尚、センシングボディ1の材料としては、熱膨張率がセンサチップ2を構成する単結晶シリコンに

$$\Delta R/R = (\pi/4) (\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) \quad \dots\dots (1)$$

また、y軸上に配置された歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗値変化率 $\Delta R'/R$ は、結晶軸の対称性から、次式(2)で表すことができる。但し、 $\Delta R'$ は増加分抵抗

$$\Delta R'/R = (\pi/4) (\sigma_{xx}' - \sigma_{yy}') \quad \dots\dots (2)$$

【0052】また、各歪みゲージ抵抗3a~3dは、センサチップ2上の中心Oを挟んで点対称配置されているから、次式(3)の関係が成立するようになる。

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy}', \quad \sigma_{yy} = \sigma_{xx}' \quad \dots\dots (3)$$

極力近い金属が望ましく、例えばコパール(30%Ni-20%Co-Fe)などを利用することになる。また、受圧口1aの直径は約2.5mm、ダイヤフラム1bの厚さ寸法は約0.65mmに設定されるものであり、これにより10MPa程度以上20MPa程度までの圧力を検出できるようになっている。

【0047】上記構成によれば、ダイヤフラム1bに対しては、受圧口1a側の面から被検出圧力が印加されると共に、これと反対側の面から一定の基準圧力(例えば大気圧)が印加されるものであり、それら印加圧力の差によってダイヤフラム1b及びセンサチップ2が同時に撓むようになる。このようにセンサチップ2が撓み変形した場合には、これに伴うセンサチップ2表面の歪み変形が歪みゲージ抵抗3a~3dの抵抗値変化として現れるようになる。従って、図3に示すホイートストブリッジの入力端子1a・1b間に直流定電圧Vを与えた状態では、受圧口1aを通じて被検出圧力が作用するのに応じて、出力端子Pa・Pb間から当該被検出圧力に応じた電圧レベルVoutの信号が出力されることになる。

【0048】さて、以下においては、上記出力電圧レベルVoutと歪みゲージ抵抗3a~3dの位置との関係、並びにセンシングボディ1とセンサチップ2との線膨張係数差に基づいて発生する熱応力について考察するに、まず、出力電圧レベルVoutと歪みゲージ抵抗3a~3dの位置との関係について考察する。

【0049】図4には、圧力印加に応じたセンサチップ2の表面における応力分布状態を有限要素法(FEM)により解析した結果を示す。具体的には、この図4は、図2中のx軸(<110>軸)に沿った複数のポイント(チップ中心Oからの距離が異なるポイント)での応力分布を解析した結果を、各ポイントでのx軸方向成分の応力 σ_{xx} とy軸方向成分の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示すものである。

【0050】単結晶シリコンにおける(100)面でのピエゾ抵抗効果は、上記応力 σ_{xx} 及び σ_{yy} 双方の影響を受けるものであり、x軸上に配置された歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗値変化率 $\Delta R/R$ は、次式(1)で表すことができる。但し、Rはゲージ初期抵抗値、 ΔR は増加分抵抗値、 $\pi/4$ はピエゾ抵抗係数であり、また、 σ_{xx} 及び σ_{yy} はそれぞれ平均応力を示す。

【0051】

値、 σ_{xx}' 及び σ_{yy}' は、図2中のy軸(<110>軸)に沿ったポイントでのx軸方向の平均応力及びy軸方向の平均応力を示す。

【0053】ここで、被検出圧力が下面から作用した状態では、歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗値が減少すると共に、歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗値が増加することになるが、歪みゲージ抵抗3a~3dの配置位置の

対称性により上記（３）式が成立することになるため、被検出圧力が作用した状態における歪みゲージ抵抗 3 b、3 c の抵抗値増加率（（２）式により得られる）と、歪みゲージ抵抗 3 a、3 d の抵抗値減少率（（１）式により得られる）とが等しくなる。

【００５４】歪みゲージ抵抗 3 a～3 d により図 3 に示すようなホイートストンブリッジを構成した場合、出力

$$V_{out} = [(R_b R_c - R_a R_d) / \{ (R_a + R_b) (R_c + R_d) \}] V \dots\dots\dots (4)$$

【００５５】この（４）式は、 $R_b > R_a + \Delta R$ 、 $R_c > R_d + \Delta R'$ であること、並びに（１）～（３）式に基づいて、次式（５）のように変形することができる。

【００５７】この（５）式からは、被検出圧力 P を示す電圧レベル V_{out} が、各歪みゲージ抵抗 3 a～3 d に作用する x 軸方向及び y 軸方向の応力の差に比例することが分かる。つまり、検出出力の電圧レベル V_{out} を大きくして感度を高めるためには、図 4 及び上記（５）式から理解できるように、チップ中心 O から極力離れた位置に歪みゲージ抵抗 3 a～3 d を形成すれば良いことになる。

【００５８】次に、センシングボディ 1 とセンサチップ 2 との線膨張係数差に基づく熱応力について考察する。この熱応力は、検出出力の誤差に大きく影響するものであり、零に近付けることが望ましい。

【００５９】図 5 には、本実施例のように正八角形状のセンサチップ 2 を備えた圧力検出装置に対し、所定の温度差（例えば 9.5℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ 2 の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。この図 5 には、図 2 中の x 軸（＜110＞軸）に沿った複数のポイント（チップ中心 O からの距離が異なるポイント）での熱応力分布を、各ポイントでの x 軸方向の応力 σ_{xx} と y 軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示してある。尚、図 6 には、上記のような解析結果を、センサチップ 2 と対応付けた状態で模式的に示した。

【００６０】これらの図 5 及び図 6 からは、歪みゲージ抵抗 3 a～3 d を、チップ中心 O から 1 mm 程度以下の距離、好ましくは 0.8 mm 程度以下の距離内に配置すれば、その配置ポイントでの x 軸方向及び y 軸方向の熱応力差をほぼ零にできて、検出出力の誤差を大幅に縮小できることが分かる。

【００６１】因みに、ダイヤフラム 1 b 上に、センサチップ 2 に代えて単結晶シリコンより成る正方形形状のセンサチップ（センサチップ 2 と同様の歪みゲージ抵抗を有するもの）の裏面全体を接合したモデルについて、その表面における熱応力分布状態の解析を上述同様に行った結果を図 7 に示す。この図 7 からは、歪みゲージ抵抗を、チップ中心から 0.5 mm 程度以下の距離、好ましくは 0.25 mm 程度以下の距離内の位置、つまりチップ中

端子 P a・P b 間からの出力電圧レベル V_{out} は、次式（４）で得られることになる。但し、 R_a 、 R_b 、 R_c 及び R_d は、歪みゲージ抵抗 3 a、3 b、3 c 及び 3 d の各抵抗値であり、

$$R_a = R_d = R + \Delta R$$

$$R_b = R_c = R + \Delta R'$$

の関係にある。

【００５６】
【数 1】

心 O に比較的近い位置に配置しなければ、熱応力をほぼ零にできないことが分かる。

【００６２】ところが、正方形形状のセンサチップを使用したモデルにおいても、歪みゲージ抵抗 3 a～3 d をチップ中心に近い位置に配置した場合には、被検出圧力印加時の各歪みゲージ抵抗 3 a～3 d に作用する x 軸方向及び y 軸方向の応力の差が小さくなるため、検出出力が十分に大きくならないという事情がある。このため、正方形形状のセンサチップを用いる場合には、検出出力の誤差の拡大をある程度許容して感度の向上を図るか、或いは感度の低下を甘受するか、の二者択一を迫られるという問題点が出てくる。

【００６３】これに対して、本実施例のように平面形状が正八角形のセンサチップ 2 を用いる構成によれば、歪みゲージ抵抗 3 a～3 d を、x 軸方向及び y 軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置、具体的には、チップ中心 O からの距離が 0.8 mm 程度以下の位置に配置した場合でも、図 4 から理解できるように、各歪みゲージ抵抗 3 a～3 d に作用する x 軸方向及び y 軸方向の応力 σ_{xx} 及び σ_{yy} の差が大きくなるから、検出出力の電圧レベル V_{out} を十分に大きくできる。つまり、本実施例によれば、センサチップ 2 の平面形状を正八角形に設定したことによるチップ形状効果によって、検出誤差を大幅に低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するものである。

【００６４】また、本実施例のように、面方位が（100）の単結晶シリコンによってセンサチップ 2 を構成した場合には、ホイートストンブリッジを構成するための歪みゲージ抵抗 3 a～3 d を、センサチップ 2 のチップ中心 O を挟んで点対称配置することになる。このような配置とした場合には、前述したように、被検出圧力が作用した状態における歪みゲージ抵抗 3 b、3 c の抵抗値増加分と、歪みゲージ抵抗 3 a、3 d の抵抗値減少分とが等しくなるから、被検出圧力に対する出力電圧の直線性が良好になるものである。

【００６５】さらに、本実施例のように、センサチップ 2 の平面形状を正八角形とした場合には、半導体ウエー

ハ上でのセンサチップ2のレイアウトが簡単化すると共に、無駄が少なくなるから、当該センサチップ2を半導体ウエーハから切り出す工程が簡単化すると共に、チップ収率（チップ取れ率）が向上するようになる。

【0066】（第2の実施の形態）図8ないし図10には本発明の第2実施例が示されており、以下これについて前記第1実施例と異なる部分について説明する。即ち、この第2実施例は、図8及び図9に示すように、センシングボディ1が有するダイヤフラム1bの上面に、平面形状が円形のセンサチップ4を図示しない低融点ガラスや接着剤などを利用して接合した点に特徴を有する。上記センサチップ4は、面方位がほぼ（100）の単結晶シリコンより成るもので、例えば、厚さ寸法が約0.2mm、直径が約3.5mmに設定されており、このセンサチップ4の表面に4個の歪みゲージ抵抗3a、3b、3c、3dが形成されている。

【0067】この第2実施例においても、センサチップ4上には、当該センサチップ4を構成する単結晶シリコンの<110>軸が直交した状態で存在するものであり、図9に示すように、4個設けられた歪みゲージ抵抗3a～3dは、前記第1実施例と同様に、センサチップ2上の中心Oから互いに直交した方向へ延びるx軸及びy軸上に、当該チップ中心Oを挟んで点対称配置される。

【0068】この実施例のように円形状のセンサチップ4を備えた圧力検出装置に対し、所定の温度差（例えば95℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ4の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果は図10に示す通りである。

【0069】この図10を、前記第1実施例における図5と比較した場合、両者が互いに極めて近似していることが分かる。従って、円形状のセンサチップ4を利用する構成とした場合でも、前記第1実施例と同様に、検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できると共に、被検出圧力に対する出力電圧の直線性を良好にできることになる。

【0070】（第3の実施の形態）図11ないし図13には本発明の第3実施例が示されており、以下これについて前記第1実施例と異なる部分について説明する。即ち、この第3実施例は、図11に示すように、センシングボディ1が有するダイヤフラム1bの上面に、平面形状が正六角形のセンサチップ5を図示しない低融点ガラスや接着剤などを利用して接合した点に特徴を有する。上記センサチップ5は、面方位がほぼ（100）の単結晶シリコンより成るもので、その厚さ寸法が約0.2mm、対辺間の寸法が約3.5mm（対角線間寸法は4mm程度になる）に設定されており、このセンサチップ5の表面に4個の歪みゲージ抵抗3a、3b、3c、3dが形成されている。

【0071】この場合、上記センサチップ5にあって

は、当該センサチップ5を構成する単結晶シリコンの一方の<110>軸（x軸）が、図11に示すように、所定の対角線と平行した方向となるように設定されており、これに伴い他方の<110>軸（y軸）は正六角形における所定の対辺と直交した状態となるように構成されている。そして、歪みゲージ抵抗3a、3dはx軸上に配置され、歪みゲージ抵抗3b、3cはy軸上に配置される。

【0072】この実施例のように正六角形状のセンサチップ5を備えた圧力検出装置に対し、所定の温度差（例えば95℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ4の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果は図12及び図13に示す通りである。尚、図12は、図11中のx軸に沿った複数のポイント（チップ中心Oからの距離が異なるポイント）での熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 σ_{xx} とy軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示し、図13は、図11中のy軸に沿った複数のポイント（チップ中心Oからの距離が異なるポイント）での熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 $\sigma_{xx'}$ とy軸方向の応力 $\sigma_{yy'}$ とに分解した状態で示す。

【0073】これらの図12及び図13からは、歪みゲージ抵抗3a～3dを、チップ中心Oから0.9mm程度以下の距離、好ましくは0.7mm程度以下の距離内に配置すれば、その配置ポイントでのx軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできて、検出出力の誤差を大幅に縮小できることが分かる。

【0074】従って、本実施例においても前記第1実施例と同様の作用効果を奏するものである。

【0075】尚、上記した各実施例で述べたような有限要素法による解析の結果、センサチップの平面形状が円形に近い状態であれば、程度の差はあるものの、熱応力の低減を図り得ることが分かる。ここで、センサチップの平面形状を多角形状に形成することを想定した場合、円形にどの程度近い形状であるか否かの判断基準として、その多角形の外接円及び内接円の各直径を比較することが考えられる。即ち、外接円直径÷内接円直径の値を δ とした場合、真円に限りなく近い多角形の δ はほぼ1であり、また、正八角形であれば δ は約1.082、正方形であれば δ は約1.414となる。

【0076】この場合、熱応力に関して、どの程度まで円形に近付いた形状が許容されるかを検討した結果、 δ が1.2未満の多角形（実際には第3実施例で説明した正六角形程度以上のもの）であれば、熱応力を低減できる形状（円形に近い形状）と考えて良いことが分かった。従って、センサチップの平面形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形に形成する構成とすれば、金属ダイヤフラム及びセンサチップの線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該センサチップの平面形状を変更するだけの簡単な構造により極

力排除できて、検出誤差の低減を実現できることになる。

【0077】（第4の実施の形態）上記した各実施例では、面方位が（100）の単結晶シリコンによりセンサチップ2を形成する構成としたが、センサチップのチップ形状効果によって検出誤差の低減を図るだけの目的であれば、面方位が（110）の単結晶シリコンによりセンサチップを形成する構成としても良い。

【0078】図14及び図15には、このような構成を採用した本発明の第4実施例が示されている。即ち、上記のように面方位が（110）の単結晶シリコンによりセンサチップを形成する場合には、歪みゲージ抵抗3a～3dの配置状態を、図1及び図2に示す状態から図14及び図15に示す状態に変更したセンサチップ2'を設ける必要がある。尚、上記歪みゲージ抵抗3a～3dは、第1実施例で述べたように、ホイートストンブリッジ（図3参照）を構成するものである。

【0079】このようにセンサチップ2'の面方位が（110）であった場合、図15に示すように、センサ

チップ2'の中心Oからx軸方向に沿った方向での応力分布は、前記図4とほぼ同じ傾向となるものである。つまり、x軸方向成分の応力 σ_{xx} は、センサチップ2'の中央部（歪みゲージ抵抗3b、3cが配置された領域）と周辺部（歪みゲージ抵抗3a、3dが配置された領域）とで比較的大きな差が出るものである。従って、歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗変化率と歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗変化率の差が大きくなり、（6）式からも明らかなようにホイートストンブリッジの出力電圧 V_{out} が大きくなる。

【0083】また、本件発明者による有限要素法による解析によれば、上記センサチップ2'において、チップ中心Oからx軸方向に沿った方向での熱応力分布は、前記図5とほぼ同じ傾向となるものである。つまり、X軸方向成分の熱応力 σ_{xx} は、チップ中心Oから0.8mm程度の距離範囲までほぼ同一の大きさのまま推移し、1mm程度の距離範囲まで見た場合には若干量だけ変化している。このため、歪みゲージ抵抗3b、3cをセンサチップ2'の中央部に配置し、歪みゲージ抵抗3a、3dを、チップ中心Oから1mm程度以下の距離、好ましくは0.8mm程度以下の距離内に配置すれば、歪みゲージ抵抗3b、3cに作用する熱応力と歪みゲージ抵抗3a、3dに作用する熱応力の差をほぼ零にできることが分かる。従って、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さい状態の出力電圧 V_{out} を得ることができることになり、以て検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0084】（第5の実施の形態）図16ないし図19

チップ2'上には、これを構成する単結晶シリコンの<100>軸及び<110>軸が直交した状態で存在することになる。この場合、上記ホイートストンブリッジの対辺に位置した一對の歪みゲージ抵抗3b、3cは、センサチップ2'の中心部分を通る<110>軸、つまりx軸に沿った位置上の中央部に配置され、当該ホイートストンブリッジの他の対辺に位置した一對の歪みゲージ抵抗3a、3dは、上記x軸に沿った位置上の周縁部に配置される。

【0080】この場合には、x軸方向成分の応力 σ_{xx} のみがピエゾ抵抗効果にかかわるため、前記（5）式は次式（6）のように変更される。但し、 σ_{xxc} は歪みゲージ抵抗3b、3cにおけるx軸方向成分の応力、 σ_{xxs} は歪みゲージ抵抗3a、3dにおけるx軸方向成分の応力を示すものであり、これらの値は前述した特性図（図4）からほぼ知ることができる。

【0081】

【数2】

【0082】ここで、本件発明者による有限要素法による解析によれば、センサチップ2'に圧力が印加された場合、そのセンサチップ2'の中心Oからx軸方向に沿った方向での応力分布は、前記図4とほぼ同じ傾向となるものである。つまり、x軸方向成分の応力 σ_{xx} は、センサチップ2'の中央部（歪みゲージ抵抗3b、3cが配置された領域）と周辺部（歪みゲージ抵抗3a、3dが配置された領域）とで比較的大きな差が出るものである。従って、歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗変化率と歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗変化率の差が大きくなり、（6）式からも明らかなようにホイートストンブリッジの出力電圧 V_{out} が大きくなる。

【0085】この場合、上記センサチップ6は、平面形状が正方形（例えば約3.5mm□、厚さ寸法は約0.2mm）となるように形成されたもので、その表面には、図17に示すように、当該センサチップ6を構成する単結晶シリコンの<110>軸が、互いに直交し且つセンサチップ6の辺部とも直交（及び平行）した状態で存在するものである。また、このセンサチップ6の表面には、第1実施例と同様に、信号取出用のホイートストンブリッジ（図3参照）を構成する4個の歪みゲージ抵抗3a、3b、3c、3dが形成されている。つまり、各歪みゲージ抵抗3a～3dは、センサチップ6上の中心Oから互いに直交した方向へ延びる2本の<110>軸上に、当該チップ中心Oを挟んで点対称配置されている。尚、本実施例においても、チップ中心Oを通る一方の<110>軸をx軸と呼び、チップ中心Oを通る他方の<110>軸をy軸と呼ぶ。

【0086】上記低融点ガラス7は、図17に示すよう

に、その平面分布形状を正八角形となるように設定されたもので、合計4個の辺部がセンサチップ6の四辺部にそれぞれ沿った状態（重なった状態）で設けられている。従って、この低融点ガラス7は、前記x軸及びy軸と直交する辺を備えた状態となるものであり、また、低融点ガラス7の対向辺部間の距離は、センサチップ6の対向辺部間の寸法に応じた約3.5mmとなる。

【0087】上記のような構成においても、ダイヤフラム1bに対しては、受圧口1a側の面から被検出圧力が印加されると共に、これと反対側の面から一定の基準圧力（例えば大気圧）が印加されるものであり、それら印加圧力の差によってダイヤフラム1b及びセンサチップ6が同時に撓むようになる。このようにセンサチップ6が撓み変形した場合には、これに伴うセンサチップ6表面の歪み変形が歪みゲージ抵抗3a～3dの抵抗値変化として現れるようになるから、図3に示すホイートストンブリッジを通じて被検出圧力に応じた電圧レベル V_{out} の信号を得ることができる。

【0088】図18には、圧力印加に応じたセンサチップ6の表面における応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。この図18は、図17中のx軸に沿

$$\Delta R/R = (\pi/4) (\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) \quad \dots\dots (1)$$

$$\Delta R'/R = (\pi/4) (\sigma_{xx'} - \sigma_{yy'}) \quad \dots\dots (2)$$

【0091】また、各歪みゲージ抵抗3a～3dの位置の対称性から次式（3）の関係が成立する。

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy'}, \quad \sigma_{yy} = \sigma_{xx'} \quad \dots\dots (3)$$

【0092】従って、前記第1実施例で説明した内容と同じ理由により、歪みゲージ抵抗3a～3dにより構成

【0094】この（5）式からは、被検出圧力 P を示す電圧レベル V_{out} が、各歪みゲージ抵抗3a～3dに作用するx軸方向及びy軸方向の応力の差に比例することが分かる。つまり、検出出力の電圧レベル V_{out} を大きくして感度を高めるためには、図18及び上記（5）式から理解できるように、チップ中心Oから極力離れた位置に歪みゲージ抵抗3a～3dを形成すれば良いことになる。

【0095】図19には、本実施例のように正形状のセンサチップ6をダイヤフラム1b上に平面分布形状が正八角形の低融点ガラス7を利用して接合した圧力検出装置に対し、所定の温度差（例えば95℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ6の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。この図19は、図17中のx軸に沿った複数のポイントでの熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 σ_{xx} とy軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示している。この図19と、前記第1実施例における同様の解析結果を示す前記図5とを比較した場合、両者は極めて類似したプロファイルになっていることが分かる。

【0096】従って、上記図17及び図18からは、歪

った複数のポイントでの応力分布を示すもので、x軸方向成分の応力を σ_{xx} 、y軸方向成分の応力を σ_{yy} で表している。この図18と、前記第1実施例における同様の解析結果を示す前記図4とを比較した場合、両者は極めて類似したプロファイルになっていることが分かる。

【0089】この場合、前にも述べたように、単結晶シリコンにおける（100）面でのピエゾ抵抗効果は、上記応力 σ_{xx} 及び σ_{yy} 双方の影響を受けるものであり、x軸上に配置された歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗値変化率 $\Delta R/R$ は、次式（1）で表すことができ、また、y軸上に配置された歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗値変化率 $\Delta R'/R$ は、結晶軸の対称性から、次式（2）で表すことができる。但し、Rはゲージ初期抵抗値、 ΔR は抵抗3a、3dの増加分抵抗値、 $\pi/4$ はピエゾ抵抗係数、 $\Delta R'$ は抵抗3b、3cの増加分抵抗値を示し、 σ_{xx} 及び σ_{yy} は図17中のX軸に沿ったポイントでのX軸方向の平均応力及びy軸方向の平均応力、 $\sigma_{xx'}$ 及び $\sigma_{yy'}$ は、図17中のy軸に沿ったポイントでのx軸方向の平均応力及びy軸方向の平均応力を示す。

【0090】

されたホイートストンブリッジ（図3参照）を通じて得られる出力電圧のレベル V_{out} は次式（5）のようになる。

【0093】

【数3】

歪みゲージ抵抗3a～3dを、チップ中心Oから1mm程度以下の距離、好ましくは0.8mm程度以下の距離内に配置すれば、その配置ポイントでのx軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできて、検出出力の誤差を大幅に縮小できることが分かる。

【0097】要するに、本実施例のように平面形状が正方形のセンサチップ6を用いる場合であっても、そのセンサチップ6をダイヤフラム1b上に接合するための低融点ガラス7の平面分布形状を八角形とするなどの構成とした場合には、歪みゲージ抵抗3a～3dを、x軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできる位置、具体的には、チップ中心Oからの距離が0.8mm程度以下の位置に配置した場合でも、図19から理解できるように、各歪みゲージ抵抗3a～3dに作用するx軸方向及びy軸方向の応力 σ_{xx} 及び σ_{yy} の差が大きくなるから、検出出力の電圧レベル V_{out} を十分に大きくできる。つまり、本実施例のように、正形状のセンサチップ6を固定する部分となる低融点ガラス7の平面分布形状を正八角形に設定した場合には、当該センサチップ6が正形状のものであっても、前記第1実施例で述べたチップ形状効果と同等の効果が得られるものであり、これによ

って、検出誤差を大幅に低減しながら感度の向上を実現できるという有益な効果を奏するものである。

【0098】また、本実施例のように、面方位が(100)の単結晶シリコンによってセンサチップ6を構成した場合には、ホイートストンブリッジを構成するための歪みゲージ抵抗3a~3dを、センサチップ6のチップ中心Oを挟んで点対称配置することになる。このような配置とした場合には、前述したように、被検出圧力が作用した状態における歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗値増加分と、歪みゲージ抵抗3a、3dの抵抗値減少分とが等しくなるから、被検出圧力に対する出力電圧の直線性が良好になるものである。

【0099】さらに、本実施例のように、センサチップ6の平面形状を正方形とした場合には、半導体ウエハ上でのセンサチップ6のレイアウトが簡単化するばかりか、センサチップ6をウエハのダイシング加工によって容易に得ることができて製造性が向上すると共に、その加工時の無駄が少なくなって、チップ収率(チップ取れ率)が大幅に向上するようになる。

【0100】一方、図20には、上記第5実施例における低融点ガラス7の平面分布形状を円形(直径は約3.5mm)とした状態において、センサチップ6の表面における応力分布状態を有限要素法により解析した結果が示され、図21には、同状態において、センサチップ6の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果が示されている。これらの図20及び図21と、低融点ガラス7の平面分布形状が正八角形(対辺間の距離は約3.5mm)の状態での同様の解析結果を示す前記図18及び図19とを比較した場合、両者は極めて類似したプロファイルになっていることが分かる。従って、低融点ガラス7の平面分布形状を円形とした場合でも、第5実施例と同様の効果を奏するものである。

【0101】また、図22には、上記第5実施例における低融点ガラス7の平面分布形状を正六角形(対辺間の距離は約3.5mm: 一対の対向辺部がセンサチップ6の一対の対向辺部に沿った配置とされる)とした状態において、センサチップ6の表面における応力分布状態を有限要素法により解析した結果が示され、図23には、同状態において、センサチップ6の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果が示されている。これらの図22及び図23と、上記のような図18及び図19とを比較した場合にも、両者は極めて類似したプロファイルになっていることが分かる。従って、低融点ガラス7の平面分布形状を正六角形とした場合でも、第5実施例と同様の効果を奏するものである。

【0102】つまり、センサチップ6を接合するための低融点ガラス7の平面分布形状が円形若しくは円形に近い多角形状であれば、程度の差はあるものの、熱応力の低減を図り得ることが分かる。ここで、低融点ガラス7の平面分布形状を多角形状に形成することを想定した場

合、円形にどの程度近い形状であるか否かの判断基準として、その多角形の外接円及び内接円の各直径を比較することが考えられる。即ち、外接円直径÷内接円直径の値を δ とした場合、真円に限りなく近い多角形の δ はほぼ1であり、また、正八角形であれば δ は約1.082、正方形であれば δ は約1.414となる。

【0103】この場合、熱応力に関して、低融点ガラス7の平面分布形状をどの程度まで円形に近付いた形状が許容されるかを検討した結果、 δ が1.2未満の多角形(実際には正六角形程度以上のもの)であれば、熱応力を低減できる形状(円形に近い形状)と考えて良いことが分かった。従って、低融点ガラス7の平面分布形状を、外接円直径÷内接円直径の値が1.2未満となる多角形に形成する構成とすれば、金属ダイヤモンド1b及び正方形のセンサチップ6の線膨張係数差に起因した熱応力による悪影響を、当該低融点ガラス7の平面形状を変更するだけの簡単な構造により極力排除できて、検出誤差の低減を実現できると共に、チップ取れ率の向上を図り得ることになる。

【0104】(第6の実施の形態) 上記第5実施例では、面方位が(100)の単結晶シリコンによりセンサチップ6を形成する構成としたが、面方位が(110)の単結晶シリコンによりセンサチップ6を形成する構成としても良い。図24には、このような構成を採用した本発明の第6実施例が示されている。即ち、上記のように面方位が(110)の単結晶シリコンによってセンサチップ6'を形成する場合には、そのセンサチップ6'上の歪みゲージ抵抗3a~3dを、図17に示す配置状態から図24に示す配置状態に変更する必要がある。尚、上記歪みゲージ抵抗3a~3dは、第5実施例と同様にホイートストンブリッジ(図3参照)を構成するものである。

【0105】このようにセンサチップ6'の面方位が(110)であった場合、図24に示すように、センサチップ6'上には、これを構成する単結晶シリコンの<100>軸及び<110>軸が直交した状態で存在することになる。この場合、上記ホイートストンブリッジの対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗3b、3cは、センサチップ6'の中心部分を通る<110>軸、つまりx軸に沿った位置上の中央部に配置され、当該ホイートストンブリッジの他の対辺に位置した一対の歪みゲージ抵抗3a、3dは、上記x軸に沿った位置上の周縁部に配置される。

【0106】この場合には、前記第4実施例の説明から明らかなように、次式(6)が成立する(σ_{xx} は歪みゲージ抵抗3b、3cにおけるx軸方向成分の応力、 σ_{xxs} は歪みゲージ抵抗3a、3dにおけるx軸方向成分の応力)。

【0107】

【数4】

$$V_{out} = (\pi 44/4) (\sigma_{xxc} - \sigma_{xxs}) V \dots\dots (6)$$

【0108】ここで、本件発明者による有限要素法による解析によれば、ダイヤフラム1b上に平面分布形状が正八角形の低融点ガラス7を介して接合された正形状のセンサチップ6'に圧力が印加された場合、そのセンサチップ6'の中心Oからx軸方向に沿った方向での応力分布は、前記図4とほぼ同じ傾向となるものである。つまり、x軸方向成分の応力 σ_{xx} は、センサチップ6'の中央部(歪みゲージ抵抗3b、3cが配置された領域)と周辺部(歪みゲージ抵抗3a、3dが配置された領域)とで比較的大きな差が出るものである。従って、歪みゲージ抵抗3b、3cの抵抗変化率と歪みゲージ抵抗3a、3dとの抵抗変化率の差が大きくなり、(6)式からも明らかなように、ホイートストンブリッジの出力電圧 V_{out} が大きくなる。

【0109】また、本件発明者による有限要素法による解析によれば、上記のようなセンサチップ6'において、チップ中心Oからx軸方向に沿った方向での熱応力分布は、前記図5とほぼ同じ傾向となるものである。つまり、x軸方向成分の熱応力 σ_{xx} は、チップ中心Oから0.8mm程度の距離範囲まで同一の大きさのまま推移し、1mm程度の距離範囲まで見た場合には若干量だけ変化している。このため、歪みゲージ抵抗3b、3cをセンサチップ6'の中央部に配置し、歪みゲージ抵抗3a、3dを、チップ中心Oから1mm程度以下の距離、好ましくは0.8mm程度以下の距離内に配置すれば、歪みゲージ抵抗3b、3cに作用する熱応力と歪みゲージ抵抗3a、3dに作用する熱応力の差をほぼ等に行うことができる。従って、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さい状態の出力電圧 V_{out} を得ることができることになり、以て検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。勿論、この第6実施例においても、低融点ガラス7の平面分布形状を円形や正六角形などに形成しても良いものである。

【0110】(第7の実施形態)図25ないし図33には本発明の第7実施例が示されており、以下これについて前記第1実施例と異なる部分のみ説明する。図25には圧力検出装置の要部が一部断面にした状態で示され、図26には同要部の平面構造が示されている。これら図25及び図26において、金属製のセンシングボディ1の上端部に構成された金属製ダイヤフラム1bの上表面には、面方位がほぼ(100)の単結晶シリコン(単結晶半導体)より成る矩形平板状のセンサチップ8が、低融点ガラスや接着剤(図示せず)を利用して接合されている。尚、上記センシングボディ1の各部の寸法は第

1実施例と同じである(受圧口1aの直径は約2.5mm、ダイヤフラム1bの厚さ寸法は約0.65mm)。また、上記センサチップ8は、その裏面全体がダイヤフラム1bと接合されるものである。

【0111】この場合、上記センサチップ8は、平面形状が正方形(例えば約3.5mm \square 、厚さ寸法は約0.2mm)となるように形成されたもので、その表面には、当該センサチップ8を構成する単結晶シリコンの<110>軸が、互いに直交した状態で存在するものである。但し、本実施例では、各結晶軸の方向を、センサチップ8の辺部と平行した直線に対してそれぞれ所定の角度 θ 例えば22.5°だけ回転させた状態としている。つまり、チップ中心Oを通る一方の<110>軸をx軸、チップ中心Oを通る他方の<110>軸をy軸とした場合、上記回転角度 θ は、図26中に示すように、x軸とセンサチップ8の辺部8aに平行した中心線Aとの間の角度、または、y軸とセンサチップ8の上記辺部8aと直交した辺部8bに平行した中心線Bとの間の角度に相当することになる。

【0112】そして、上記センサチップ8の表面には、第1実施例と同様に、信号取出用のホイートストンブリッジ(図3参照)を構成する4個の歪みゲージ抵抗3a、3b、3c、3dが形成されている。つまり、各歪みゲージ抵抗3a~3dは、センサチップ8上の中心Oから互いに直交した方向へ延びる2本の<110>軸(x軸及びy軸)上に、当該チップ中心Oを挟んで点対称配置されている。

【0113】上記のような構成においても、ダイヤフラム1bに対しては、受圧口1a側の面から被検出圧力が印加されると共に、これと反対側の面から一定の基準圧力(例えば大気圧)が印加されるものであり、それら印加圧力の差によってダイヤフラム1b及びセンサチップ8が同時に撓むようになる。このようにセンサチップ8が撓み変形した場合には、これに伴うセンサチップ8表面の歪み変形が歪みゲージ抵抗3a~3dの抵抗値変化として現れるようになるから、図3に示すホイートストンブリッジを通じて被検出圧力に応じた電圧レベル V_{out} の信号を得ることができる。

【0114】このような構成においても、歪みゲージ抵抗3a~3dにより構成されたホイートストンブリッジ(図3参照)を通じて得られる出力電圧のレベル V_{out} については、次式(5)が成立するものである。

【0115】

【数5】

【0116】また、圧力 P に起因するセンサチップ8の表面におけるx軸方向及びy軸方向の応力差は、チップ中心Oから遠ざかるに連れて大きくなるという事情があ

すれば良いことになる。

【0117】この場合、上記検出出力の誤差要因となるx軸方向及びy軸方向の熱応力差は、歪みゲージ抵抗3a～3dの位置がチップ中心Oから遠ざかるに連れて拡大するという特性があるが、本実施例のように、センサチップ8上の結晶軸(<110>軸)の方向をセンサチップ8の辺部に対して $\theta = 22.5^\circ$ だけ回転させた状態とした場合には、上記熱応力差が零若しくは零に近い状態となる領域がチップ中心Oから比較的離れた位置まで拡大するものである。

【0118】つまり、図27ないし図29には、本実施例のように正方形のセンサチップ8の裏面全体をダイヤフラム1b上に接合した圧力検出装置において、前記回転角度 θ をそれぞれ 0° 、 22.5° 、 45° に変更したモデルを想定し、各モデルに対し、所定の温度差(例えば 95°C)を与えた状態(印加圧力は零)でのセンサチップ8の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。尚、これらの図27ないし図29は、図26中のx軸に沿った複数のポイントでの熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 σ_{xx} とy軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示している。

【0119】上記のような解析結果からは、回転角度 θ が 0° 及び 45° の各モデル(図27、図29)においては、チップ中心Oからの距離が0.4～0.5mm程度を越えた領域からx軸方向及びy軸方向の熱応力差($\sigma_{yy} - \sigma_{xx}$)が拡大し始めているのに対して、回転角度 θ が 22.5° のモデル(図28)においては、チップ中心Oからの0.9mm程度の領域まで上記のような熱応力差が零になっていることが分かる。

【0120】従って、本実施例の構成によっても、歪みゲージ抵抗3a～3dを、チップ中心Oからほぼ1mm程度以下の距離(好ましくは0.9mm程度以下の距離)内に配置すれば、その配置ポイントでのx軸方向及びy軸

方向の熱応力差をほぼ零にできて、検出出力の誤差を大幅に縮小できると共に、検出出力の電圧レベル V_{out} を十分に大きくできて感度の向上を実現できるようになる。また、このような効果を得るために、センサチップ8上の結晶軸の方向を変更するだけの簡単な構造を採用するだけで済む利点がある。しかも、センサチップ8の形状が正方形であるから、半導体ウエハ上でのセンサチップ8のレイアウトが簡単化するばかりか、センサチップ8をウエハのダイシング加工によって容易に得ることができて製造性が向上すると共に、その加工時の無駄が少なくなると、チップ収率(チップ取れ率)が大幅に向上するようになる。

【0121】上記第7実施例では、センサチップ8上の<110>軸の当該センサチップ8の辺部に対する回転角度 θ を 22.5° としたが、これに限られるものではなく、歪みゲージ抵抗3a～3dの配置ポイントでのx軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできる範囲をある程度確保できる角度であれば、上記回転角度 θ を変更しても良いものである。

【0122】そこで、以下においては、このような回転角度 θ の許容範囲について考察する。即ち、半導体圧力検出装置においては、センサチップ上においてx軸方向及びy軸方向の熱応力差が存在すると、検出出力の零点が温度特性を持つようになるため、その非直線性が問題となる。このような非直線性の補正を外部回路によって行おうとする場合には、その回路構成が複雑になると共に面倒な調整作業が必要になるという問題点が出てくる。本実施例においても、このような零点温度非直線性TNO (Temperature Nonlinearity of Offset Voltage) が問題となるものであり、これは次式(7)で表すことができる。

【0123】

【数6】

$$TNO = - \frac{V_{offset}(HT) - V_{offset}(RT)}{FS \cdot (HT - RT)} \cdot \frac{V_{offset}(LT) - V_{offset}(RT)}{FS \cdot (LT - RT)} \cdot (LT - RT) \times 100 [\%FS] \quad \dots\dots (7)$$

【0124】ここで、 $V_{offset}(T)$ は温度Tにおける零点出力電圧、RTは常温、HTは温度変動幅の最高温度、LTは温度変動幅の最低温度、FSはフルスケール出力電圧幅(スパン)である。

【0125】このように得られるTNOの前記回転角度 θ に対する依存性を上記第7実施例のような基本構造を有したモデルについてシミュレーションした結果が図30に示されている。但し、このシミュレーションでは、歪みゲージ抵抗のチップ中心からの距離は0.8mm、その歪みゲージ抵抗の形成領域を0.2mm口の正方形と仮定した。

【0126】図30における回転角度 $\theta = 0^\circ$ の状態は、従来行われてきた一般的なゲージ配置であるが、この状態でのTNOの絶対値は4%FS強以上となっている。仮に、このようなTNOの絶対値を半減すれば非直線性の補正に効果があるとすれば、回転角度 $\theta = 15^\circ \sim 33^\circ$ の範囲に設定すれば良いことになる。尚、この図30では、TNOが零になる回転角度 θ は約 25° となっているが、これは歪みゲージ抵抗の形成領域を正方形に仮定したこと起因すると考えられる。

【0127】一方、上記回転角度 θ が 33° より大きく設定された場合でも、検出出力の誤差要因となるx軸方

向及びy軸方向の熱応力差を零にできることがある。つまり、図31ないし図33には、第7実施例のように正方形のセンサチップ8の裏面全体をダイヤモンド1b上に接合した圧力検出装置において、前記回転角度 θ をそれぞれ33.75°、37°、40°に変更したモデルを想定し、各モデルに対し、所定の温度差（例えば95℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ8の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。尚、これらの図31ないし図33は、図26中のx軸に沿った複数のポイントでの熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 σ_{xx} とy軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示している。

【0128】上記のような解析結果からは以下のようなことが分かる、つまり、回転角度 θ が例えば33.75°のモデル（図31）においては、x軸方向及びy軸方向の熱応力差（ $\sigma_{yy}-\sigma_{xx}$ ）は、チップ中心Oから0.3mm程度の領域を越えると拡大傾向を示すが、チップ中心Oから1.6mm程度の位置でもほぼ零になる。従って、歪みゲージ抵抗を、その中心が上記チップ中心Oから1.6mm程度の位置となるように配置すれば、大きな検出出力が得られると共に、上記熱応力差を最小にできて当該検出出力の誤差を縮小できることになる。さらに、回転角度 θ が37°のモデル（図32）においても、x軸方向及びy軸方向の熱応力差が零になる位置（チップ中心Oから約1.9mm強の位置）が存在するから、同様に熱応力差を最小にできて検出出力の誤差を縮小できることになる。また、回転角度が40°のモデル（図33）においては、x軸方向及びy軸方向の熱応力差が零になる領域がチップ中心Oから0.2mm程度の範囲内のごく狭い領域に限られることになり、上記のような誤差縮小効果は望めないことになる。以上のことを総合すると、回転角度 θ の許容範囲は15°～37°になるものであり、この範囲で回転角度 θ を変更することができる。

【0129】（第8の実施の形態）図34ないし図38には、上記第7実施例に変更を加えた本発明の第8実施例が示されており、以下これについて第7実施例と異なる部分のみ説明する。図34には圧力検出装置の要部が断面構造が示され、図35には同要部の平面構造が示されている。これら図34及び図35において、下面に受圧口9aを備えた金属製のセンシングボディ9の上端部に構成された金属製ダイヤモンド9bの上面には、第7実施例と同じ構成のセンサチップ8の裏面全体が、低融点ガラスや接着剤（図示せず）を利用して接合されている。この場合、本実施例では、200MPa用の圧力検出装置を対象としており、上記センシングボディ9は、これに応じた形状とされている。つまり、センシングボディ9は、例えばコパール（30%Ni-20%Co-Fe）によって形成されたもので、受圧口9aの直径は約2.5mm、ダイヤモンド9bの厚さ寸法は約2mmと比

較的大きな値に設定される。

【0130】このように、ダイヤモンド厚が大きく変更されると、センサチップ8の表面での熱応力分布も多少変わってくるものであり、このような熱応力分布の変化に対応するために、本実施例では、センサチップ8上の結晶軸（〈110〉軸）の当該センサチップ8の辺部に対する回転角度 θ を約30°に設定している。このような設定の根拠は以下に述べる通りである。

【0131】即ち、図36ないし図38には、本実施例のように正方形のセンサチップ8の裏面全体を厚さ寸法2mmのダイヤモンド9b上に接合した圧力検出装置において、前記回転角度 θ をそれぞれ26°、30°、34°に変更したモデルを想定し、各モデルに対し、所定の温度差（例えば95℃）を与えた状態（印加圧力は零）でのセンサチップ8の表面における熱応力分布状態を有限要素法により解析した結果を示す。尚、これらの図36ないし図38は、図35中のx軸に沿った複数のポイントでの熱応力分布を、各ポイントでのx軸方向の応力 σ_{xx} とy軸方向の応力 σ_{yy} とに分解した状態で示している。

【0132】上記のような解析結果からは、検出出力の誤差要因となるx軸方向及びy軸方向の熱応力差がほぼ零となる領域は、回転角度 $\theta=30^\circ$ のモデル（図37）がチップ中心Oから約1mmの領域となるものであり、これが一番広がっていることが分かる。従って、本実施例の構成によっても、歪みゲージ抵抗3a～3dを、チップ中心Oからほぼ1mm程度以下の距離内に配置すれば、その配置ポイントでのx軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできて、検出出力の誤差を大幅に縮小できると共に、検出出力の電圧レベル V_{out} を十分に大きくできて感度の向上を実現できるようになる。

【0133】尚、上記回転角度 θ は、この実施例で挙げた30°に限られるものではなく、歪みゲージ抵抗3a～3dの配置ポイントでのx軸方向及びy軸方向の熱応力差をほぼ零にできる範囲をある程度確保できる角度であれば、前記第7実施例と同様に変更可能である。

【0134】（第9の実施の形態）上記第7実施例及び第8実施例では、面方位が（100）の単結晶シリコンにより正方形のセンサチップ8を形成する構成としたが、面方位が（110）の単結晶シリコンによりセンサチップを形成する構成としても良い。図39には、このような構成を採用した本発明の第9実施例が示されている。即ち、この第9実施例は第7実施例に変更を加えた例を示すものであり、上記のように面方位が（110）の単結晶シリコンによってセンサチップ8'を形成する場合には、そのセンサチップ8'上の歪みゲージ抵抗3a～3dを、図26に示す配置状態から図39に示す配置状態に変更する必要がある。尚、上記歪みゲージ抵抗3a～3dは、ホイートストンブリッジ（図3参照）を構成するものである。

【0135】このようにセンサチップ8'の面方位が(110)であった場合、図39に示すように、センサチップ8'上には、これを構成する単結晶シリコンの<100>軸及び<110>軸が直交した状態で存在することになる。この場合、上記ホイートストンブリッジの対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗3b、3cは、センサチップ8'の中心部分を通る<110>軸、つまりx軸に沿った位置上の中央部に配置され、当該ホイートストンブリッジの他の対辺に位置した一对の歪みゲージ抵抗3a、3dは、上記x軸に沿った位置上の周縁部に配置される。

【0136】このような構成の本実施例においても、前記第6実施例中で説明したと同等の理由によって、歪みゲージ抵抗3b、3cに作用する熱応力と歪みゲージ抵抗3a、3dに作用する熱応力の差をほぼ零にできるから、ホイートストンブリッジから熱応力オフセット電圧が小さい状態の出力電圧Voutを得ることができることになり、以て検出誤差を低減しながら感度の向上を実現できるようになる。

【0137】(その他の実施の形態)尚、本発明は上記した各実施例に限定されるものではなく、以下に述べるような変形或いは拡大が可能である。各実施例では、ホイートストンブリッジを構成するために4個の歪みゲージ抵抗を形成したが、例えば2個の歪み抵抗ゲージによりハーフブリッジ回路を形成する構成としても良い。センサチップの材料としては単結晶シリコンに限られるものではなく、ピエゾ抵抗効果を奏するものであれば、他の単結晶半導体を利用することができる。

【0138】ダイヤモンドの直径よりセンサチップの対辺寸法或いは直径が大きい状態の例で説明したが、その寸法関係は逆であっても良い。また、センシングボディの材質はコパールに限定されるものではない。さらに、歪みゲージ抵抗を拡散抵抗により構成したが、これをポリシリコン抵抗により形成することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示す要部の部分断面斜視図

【図2】同要部の平面図

【図3】歪みゲージ抵抗の配線状態を示す結線図

【図4】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図5】センサチップ表面における熱応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図6】図5の解析結果をセンサチップと対応付けた状態で模式的に示す図

【図7】正形状のセンサチップモデルについて、その表面における熱応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図8】本発明の第2実施例を示す図1相当図

【図9】図2相当図

【図10】図5相当図

【図11】本発明の第3実施例を示す図2相当図

【図12】センサチップ表面におけるx軸方向の熱応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図13】センサチップ表面におけるy軸方向の熱応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図14】本発明の第4実施例を示す図1相当図

【図15】図2相当図

【図16】本発明の第5実施例を示す図1相当図

【図17】図2相当図

【図18】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図19】センサチップ表面における熱応力分布状態を解析した結果を示す特性図

【図20】第5実施例に一部変更を加えた変形例における図18相当図

【図21】同変形例における図19相当図

【図22】第5実施例に一部変更を加えた他の変形例における図18相当図

【図23】同変形例における図19相当図

【図24】本発明の第6実施例を示す図2相当図

【図25】本発明の第7実施例を示す図1相当図

【図26】図2相当図

【図27】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その1

【図28】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その2

【図29】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その3

【図30】零点温度非直線性をシミュレーションした特性図

【図31】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その4

【図32】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その5

【図33】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その6

【図34】本発明の第8実施例を示す要部の断面図

【図35】図2相当図

【図36】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その1

【図37】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その2

【図38】圧力印加に応じたセンサチップ表面における応力分布状態を解析した結果を示す特性図その3

【図39】本発明の第9実施例を示す図2相当図

【符号の説明】

1はセンシングボディ、1bはダイヤモンド、2、2'はセンサチップ、3a～3dは歪みゲージ抵抗、4、5、6、6'はセンサチップ、7は低融点ガラス(接着

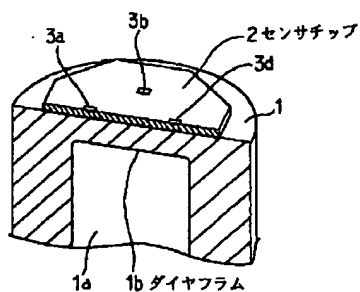
用材料)、8、8'はセンサチップ、9はセンシングボ

ディ、9bはダイヤフラムを示す。

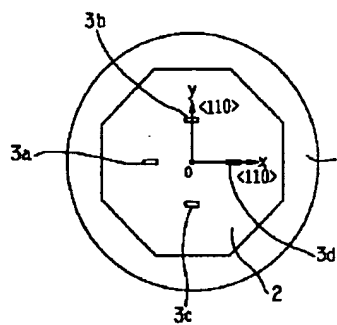
【図1】

【図2】

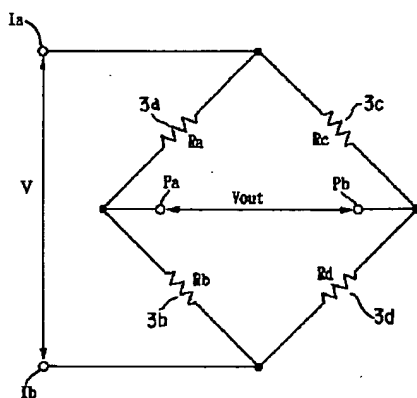
3a, 3b, 3d : 歪みゲージ抵抗



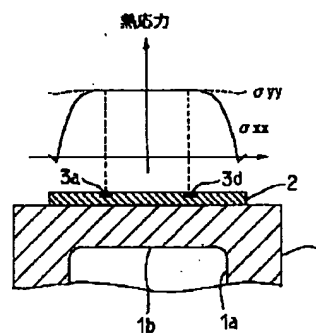
【図3】



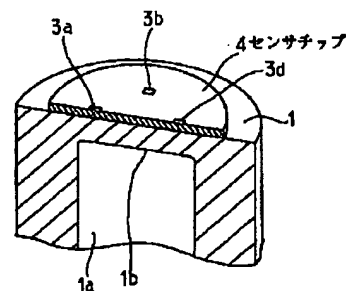
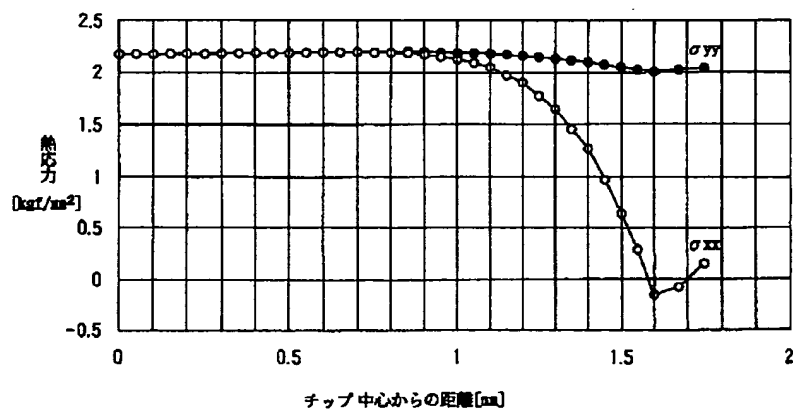
【図6】



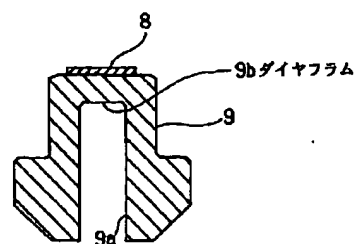
【図5】



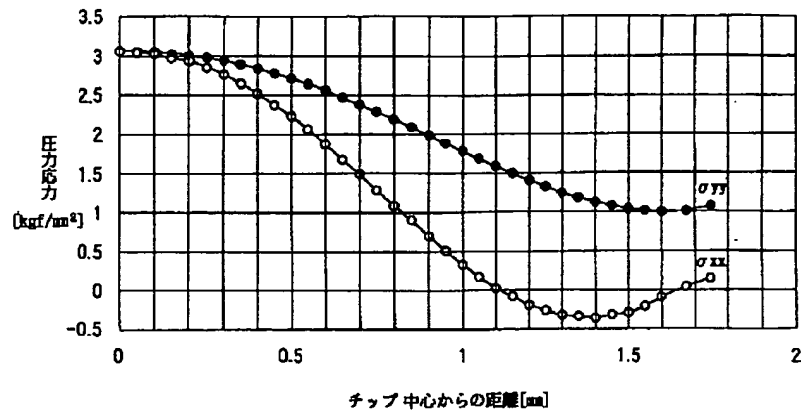
【図8】



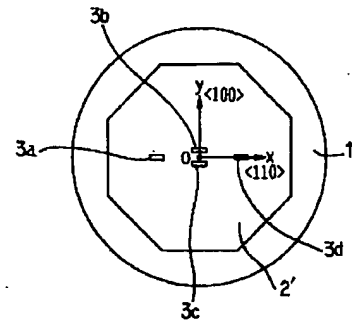
【図3 4】



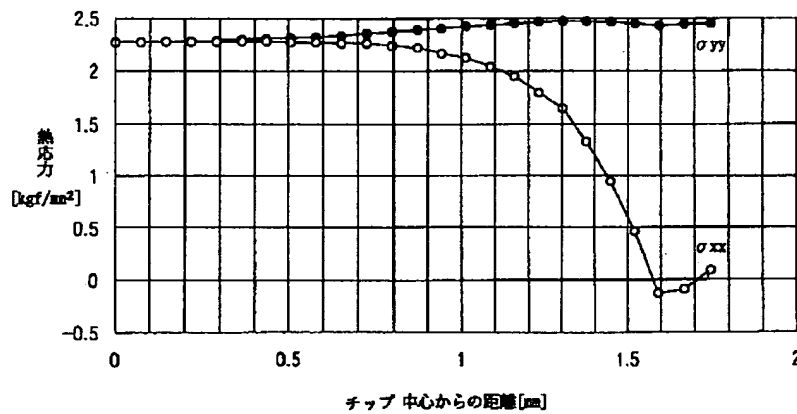
【図 4】



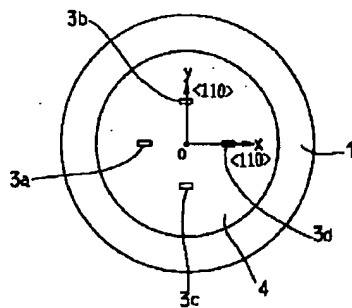
【図 15】



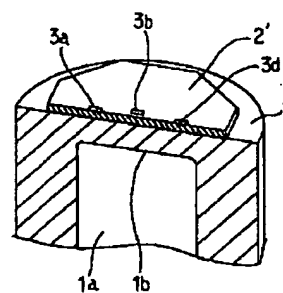
【図 7】



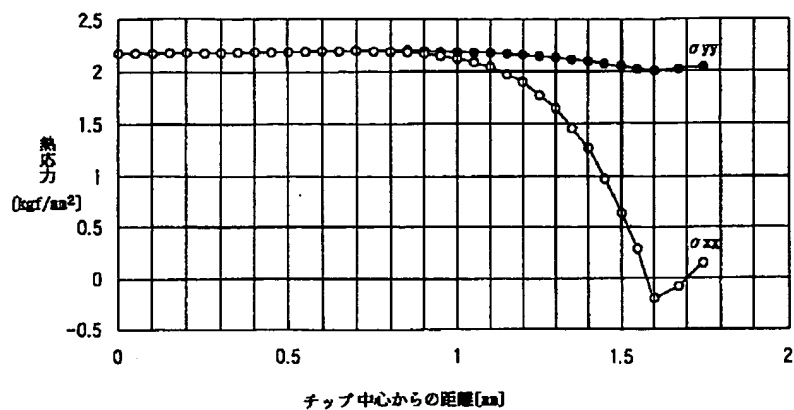
【図 9】



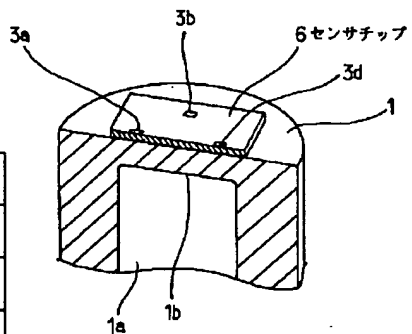
【図 14】



【図10】

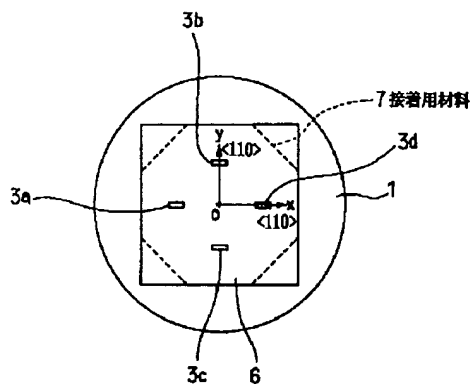
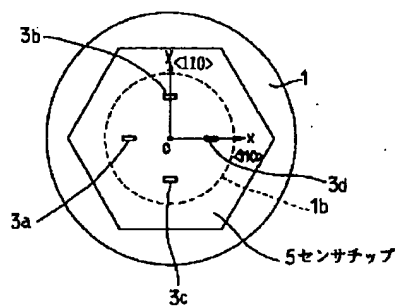


【図16】



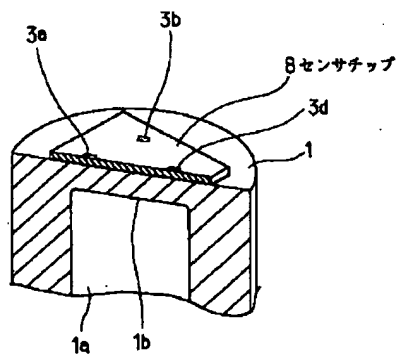
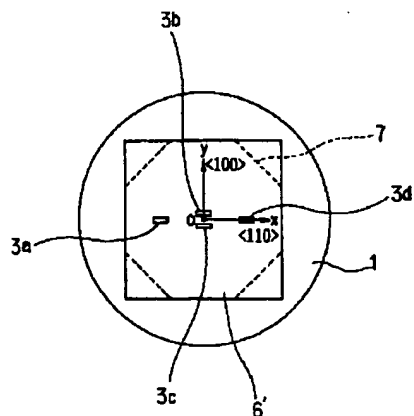
【図11】

【図17】

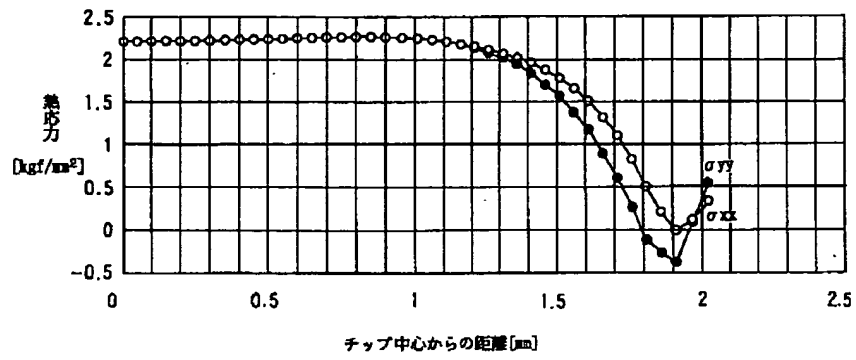


【図24】

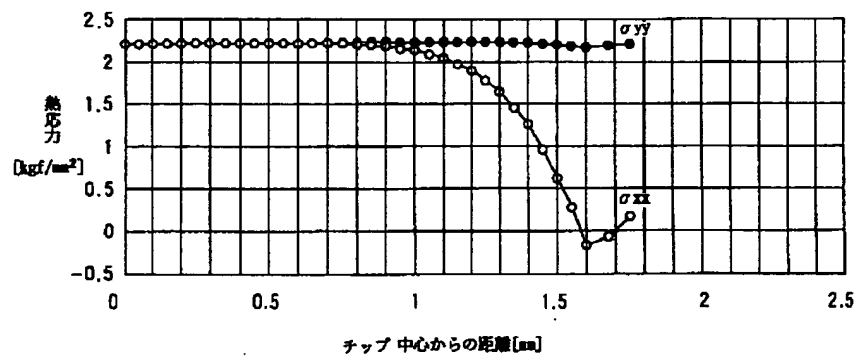
【図25】



【図12】

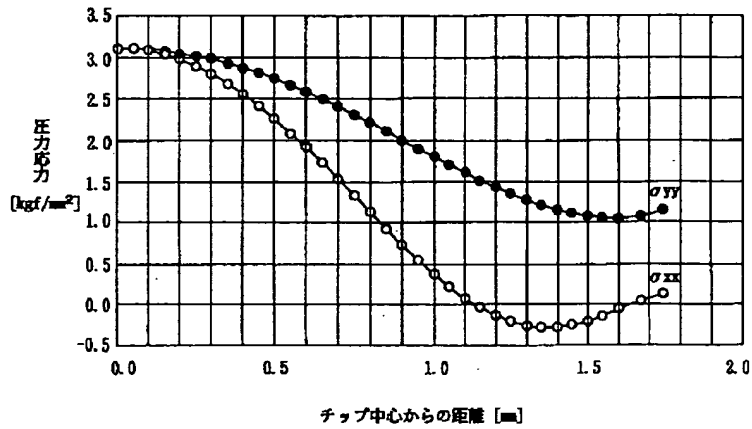


【図13】



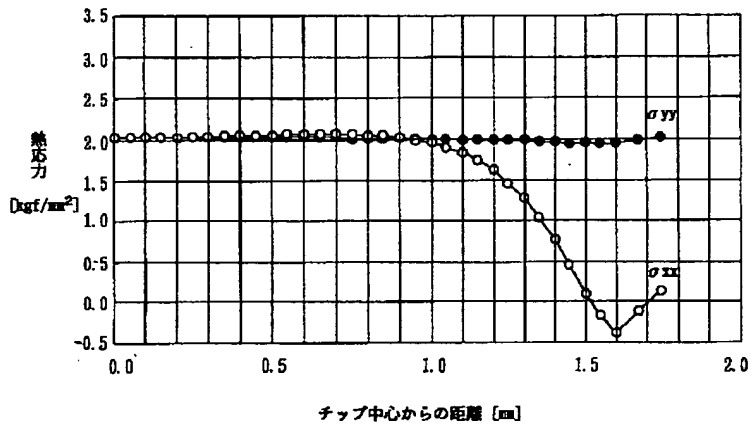
【図18】

(低融点ガラスの平面分布形状=正八角形)



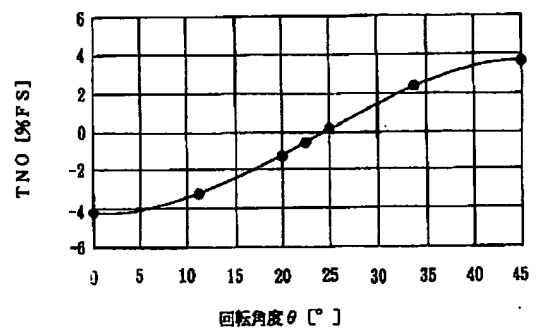
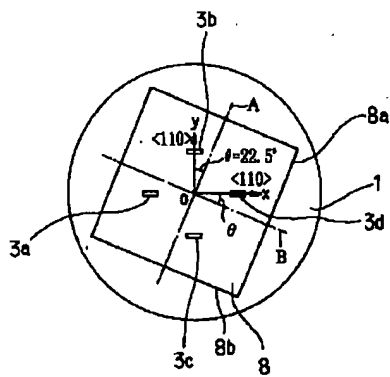
【図19】

(低融点ガラスの平面分布形状=正八角形)



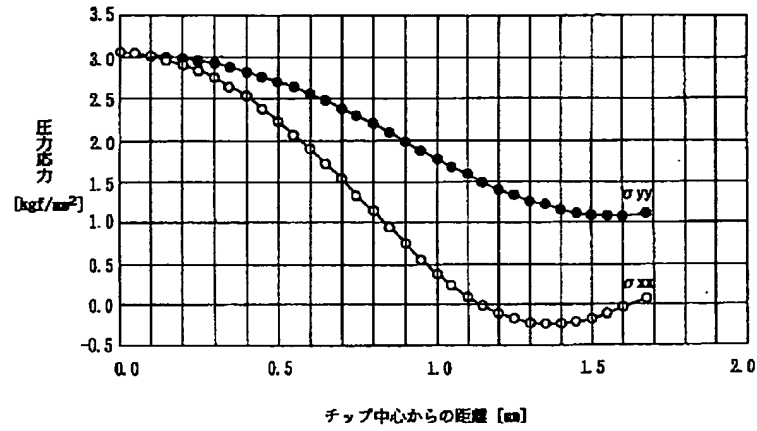
【図26】

【図30】



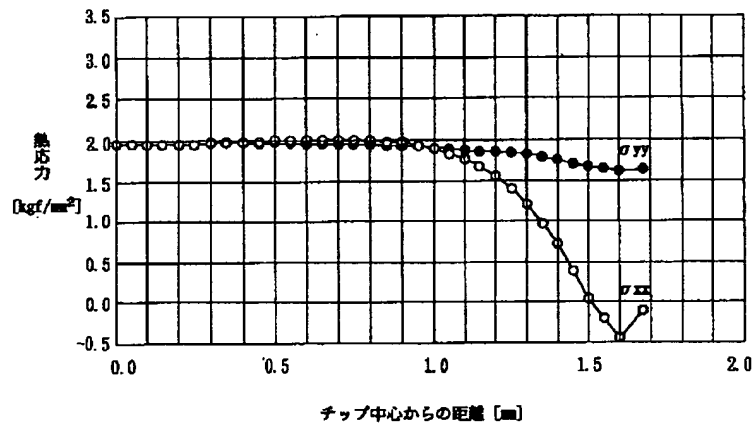
【図20】

(低融点ガラスの平面分布形状=円形)

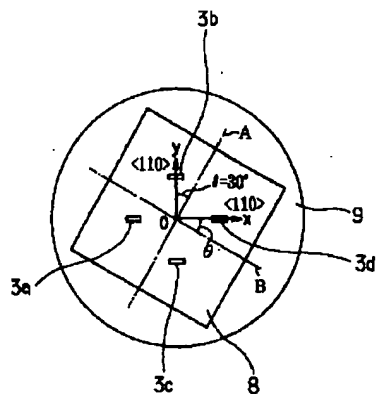


【図21】

(低融点ガラスの平面分布形状=円形)

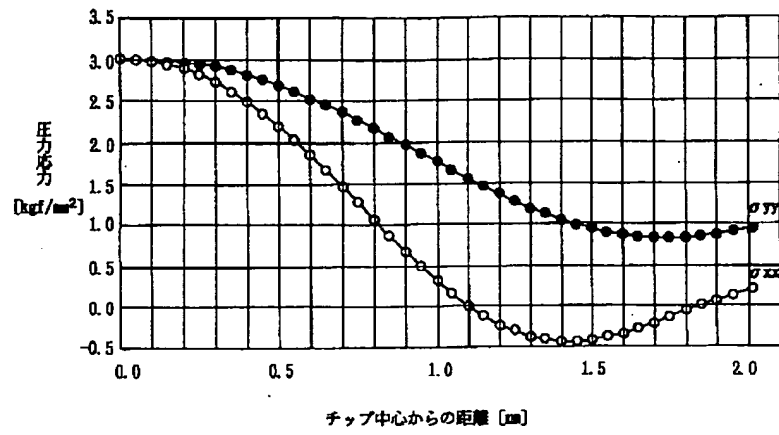


【図35】



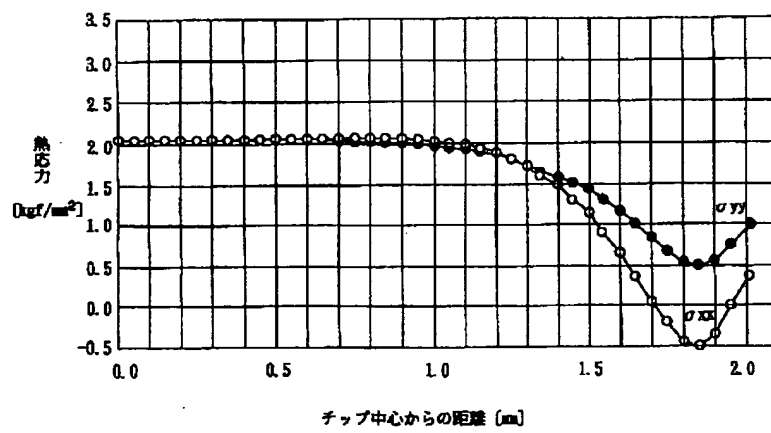
【図 2 2】

〈低融点ガラスの平面分布形状=正六角形〉



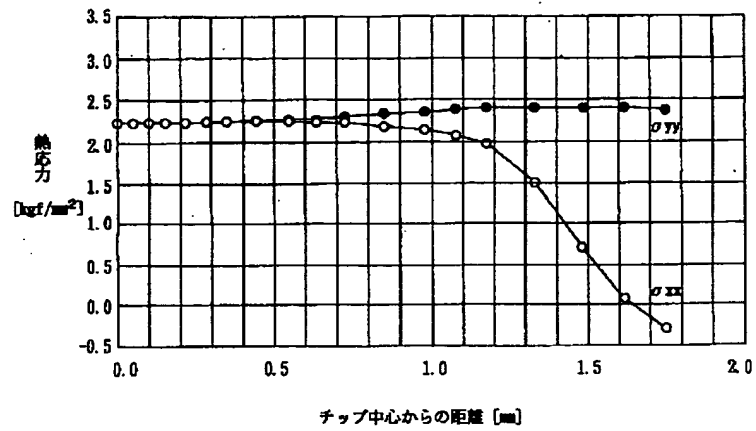
【図 2 3】

〈低融点ガラスの平面分布形状=正六角形〉



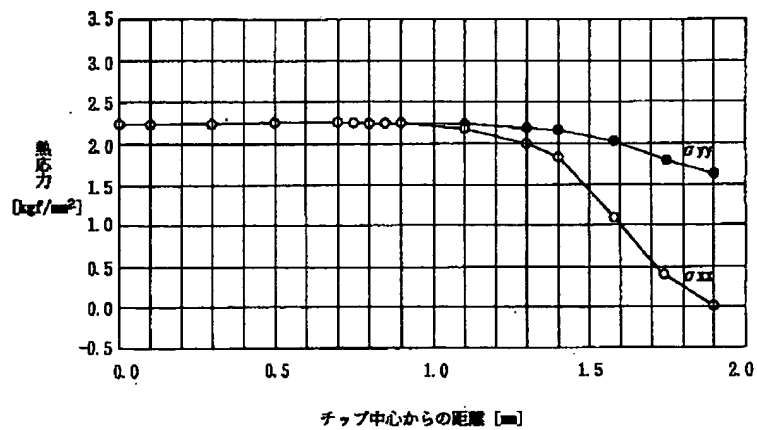
【図 2 7】

(回転角度 $\theta = 0^\circ$)

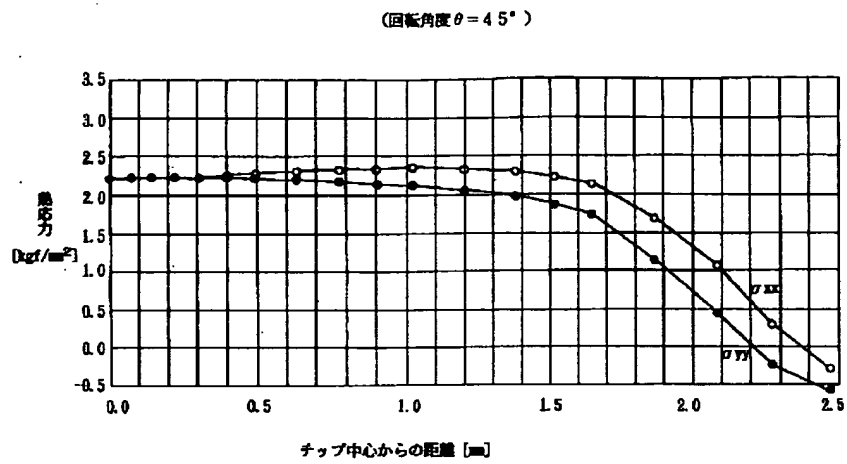


【図 2 8】

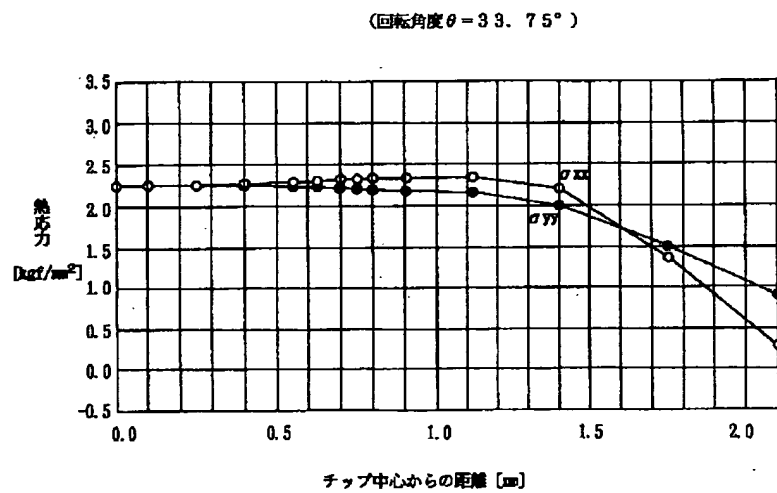
(回転角度 $\theta = 22.5^\circ$)



【図 29】

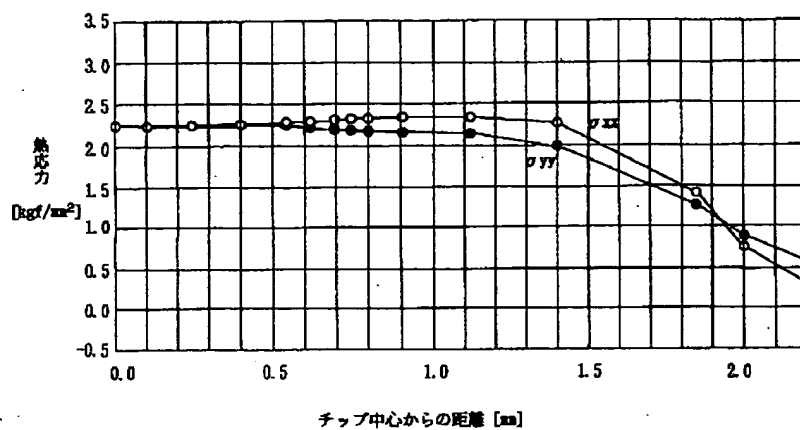


【図 31】



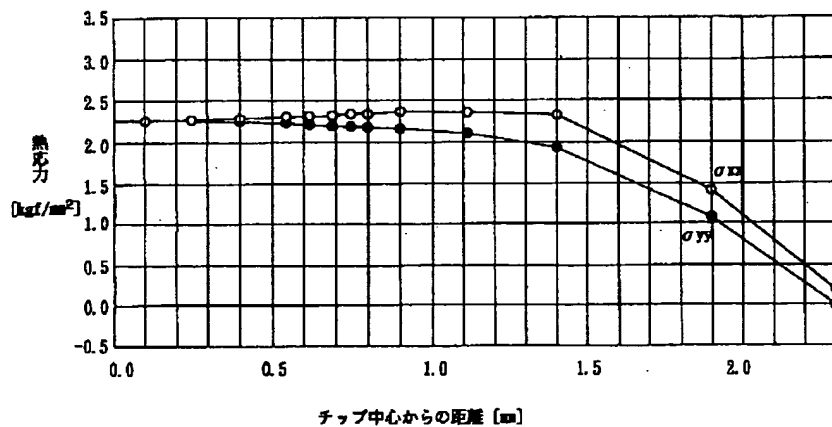
【図 3 2】

(回転角度 $\theta = 37^\circ$)

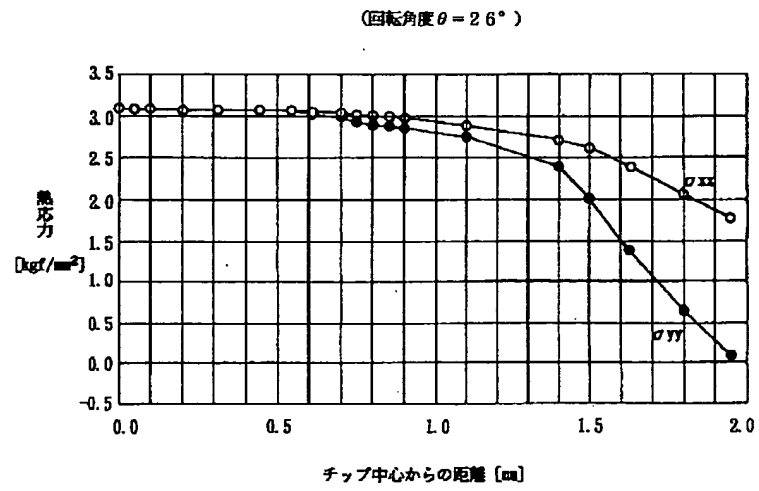


【図 3 3】

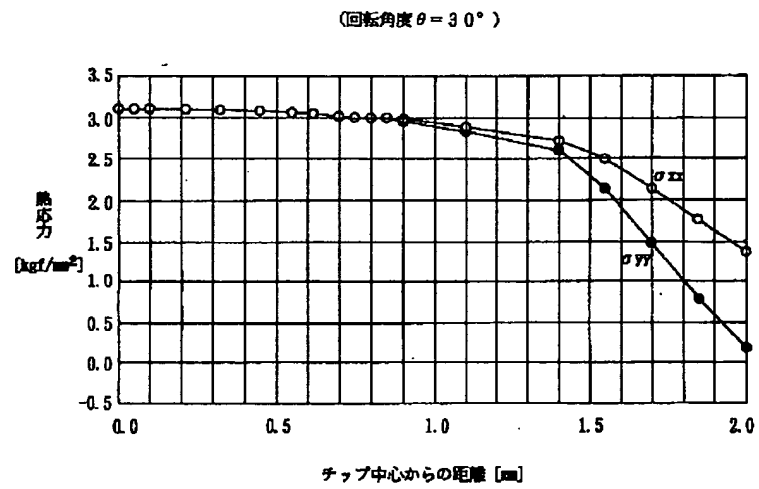
(回転角度 $\theta = 40^\circ$)



【図 3 6】

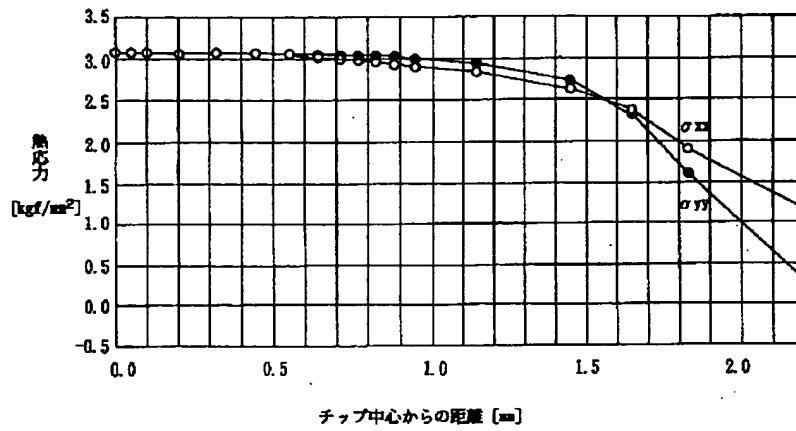


【図 3 7】

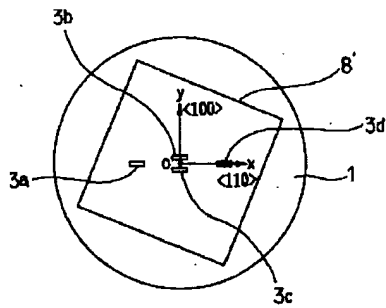


【図38】

(回転角度 $\theta = 34^\circ$)



【図39】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 宏明
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72)発明者 鈴木 康利
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内